

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Necessidades nominais de energia em edifícios de  
habitação: comparação entre as metodologias do  
RCCTE, REH e modelo 5R1C

Silvana Gil Messias Letras

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

2014

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Necessidades nominais de energia em edifícios de  
habitação: comparação entre as metodologias do  
RCCTE, REH e modelo 5R1C

Silvana Gil Messias Letras

**Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Trabalho realizado sob a supervisão de

Doutora Cristina Matos Silva (IST)

Doutora Marta Panão (FCUL)

**2014**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao longo do meu percurso académico muitas pessoas se destacaram ao acompanhar-me em todos os momentos.

No decorrer deste trabalho, gostaria de deixar os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que de certa forma me ajudaram ao longo destes meses nesta fase tão importante.

Primeiro de tudo gostaria de agradecer à Doutora Professora Marta Panão, por toda a disponibilidade, compreensão e ajuda em todos os detalhes da dissertação.

À Doutora Professora Cristina Matos Silva, por ter aceite o desafio, sendo eu aluna de uma instituição diferente, e ter aceite em orientar e ajudar na minha tese de mestrado.

A todos os meus amigos que me acompanharam nestes 5 anos de faculdade, com quem partilhei conhecimento e experiências.

Aos meus amigos de sempre que cresceram comigo e sempre me apoiaram em todas as fases da minha vida, principalmente à Ana, Mónica e Sara que estão comigo em todos os momentos

Por fim, às pessoas mais importantes da minha vida, a minha família – Pais e irmãs, que se não fossem eles e todo o amor incondicional, compreensão e educação que me deram ao longo da minha vida, não estaria neste momento onde estou.

## RESUMO

O consumo energético dos edifícios constitui uma das mais importantes parcelas do consumo total de energia a nível mundial.

Para garantir o equilíbrio deste consumo e evitar simultaneamente o crescimento da fatura elétrica, é necessário não só intervir nos hábitos dos ocupantes como também e principalmente implementar medidas de eficiência energética na construção dos edifícios.

O foco desta dissertação é avaliar e comparar um caso de estudo com variações ao nível de orientação e localização, no que diz respeito à aplicação dos dois regulamentos térmicos para edifícios residenciais: o antigo Decreto-Lei 80/2006 (RCCTE) e o atual Decreto-Lei 118/2013 (REH). A comparação tem por base o apuramento das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento e das necessidades totais de energia primária e classificação energética.

Após esta fase, os resultados da aplicação do REH são comparados com os do método 5R1C, com base de cálculo horária, descrito na norma EN ISO 13790.

O presente estudo demonstra que as necessidades nominais de energia útil são superiores no RCCTE face ao novo regulamento, REH, embora as necessidades nominais de energia primária sejam superiores neste último.

As necessidades de energia útil para águas quentes sanitárias (AQS) eram a parcela mais representativa no RCCTE. No REH a parcela mais representativa consiste nas necessidades de energia útil para aquecimento.

As mudanças do novo regulamento levaram ao aumento do seu rigor ao nível do cálculo, comparativamente ao RCCTE, harmonizando o desempenho energético de uma casa com elevada classificação energética nas vertentes do aquecimento, arrefecimento e AQS, com um conseqüente aumento do conforto térmico dos ocupantes.

**Palavras-chave:** Necessidades nominais de energia, RCCTE, REH, EN ISO 13790, Certificação energética





## **ABSTRACT**

The buildings energetic consumption is a part of one of the most crucial parcels of the total worldwide energy consumption.

In order to allow the balance of this type of consumption and simultaneously avoid the growth of the electrical bill, it is necessary, not only to interfere in the tenant's habits, but also to implement the energy efficient measures in the building's construction.

The focus of this dissertation is to evaluate and compare a case study with variations in terms of orientation and location, when it comes to applying two thermic regulations to residential buildings: the old Law 80/2006 (RCCTE) and the actual Law 118/2013 (REH). The comparison has its foundation in the finding of useful nominal energetic necessities for heating and cooling, and in the total primary energy necessities and energetic classification.

With this stage completed, the REH results are compared with the 5R1C method, with an hourly calculated base which is described in the norm ENISO13790.

Although the nominal needs of the primary energy are superior to the REH, this study shows that nominal needs of the useful energy are superior to the RCCTE when it comes to the new legislation.

The useful energy needs for the sanitary hot water (AQS) had a big relevance AQS in the RCCTE, just like the heating useful energy needs had in the REH.

The changes in the new legislation lead the rise of rigorous calculation methods, comparatively to the RCCTE, leading to the harmony of energy performance of a high energy classification household in the heating strands, cooling and AQS, providing for a certified households to conceive a better comfort for its occupants.

**Keywords:** Energy Needs, RCCTE, REH, ISO 13790 - 5R1C, Energy Certification



# Índice

AGRADECIMENTOS .....	I
RESUMO .....	II
ABSTRACT .....	IV
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Enquadramento do tema.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objectivos .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Estrutura da dissertação .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Metodologia ou Estado de Arte .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Fenómenos de transmissão de calor .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Condução .....	5
2.1.2 Convecção .....	6
2.1.3 Radiação .....	7
<b>2.2 Variáveis térmicas.....</b>	<b>7</b>
2.2.1 Renovação do Ar - $R_{ph}$ .....	7
2.2.2 Ganhos Solares através dos envidraçados e envolvente opaca .....	8
2.2.3 Ganhos internos.....	9
2.2.4 Armazenamento de calor pela inércia térmica .....	10
<b>3. Necessidades energéticas dos edifícios .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Legislação – Enquadramento Político-Legal.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 Evolução.....</b>	<b>11</b>
3.2.1 Diretiva Europeia 2002/91/CE.....	11
<b>3.3 SCE.....</b>	<b>12</b>
3.3.1 RCCTE.....	13
3.3.1.1 <u>Análise Climática no RCCTE</u> .....	15
3.3.1.2 <u>Definição da envolvente</u> .....	16
3.3.1.3 <u>Coeficientes de transmissão térmica – U</u> .....	17
3.3.1.4 <u>Inércia térmica</u> .....	18
3.3.1.5 <u>Taxa de Renovação de ar – Ventilação Natural</u> .....	19
3.3.1.6 <u>Fator solar</u> .....	20
3.3.1.7 <u>Necessidades nominais de energia útil para aquecimento <math>N_{ic}</math></u> .....	21
3.3.1.8 <u>Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento</u> .....	26

3.3.1.9	<u>Necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias – <math>N_{ac}</math></u>	29
3.3.1.10	<u>Necessidades nominais globais de energia primária – <math>N_{tc}</math></u>	30
3.3.2	<b>REH</b>	32
3.3.2.1	<u>Breve introdução</u>	32
3.3.2.2	<u>Dados climáticos</u>	32
3.3.2.3	<u>Taxa de renovação de ar</u>	35
3.3.2.4	<u>Fator solar</u>	35
3.3.2.5	<u>Necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento</u>	37
3.3.2.6	<u>Necessidades nominais úteis de energia para arrefecimento</u>	43
3.3.2.7	<u>Necessidades de energia útil para a preparação de águas quentes sanitária – <math>Q_a</math></u>	47
3.3.2.8	<u>Necessidades nominais globais de energia primária – <math>N_{tc}</math></u>	48
3.3.3	<b>Norma 13790 – 5R1C</b>	49
<b>4.</b>	<b>Caso de estudo</b>	<b>53</b>
4.1	<b>Apresentação do caso</b>	<b>53</b>
<b>5.</b>	<b>Comparação global de valores com o RCCTE e o REH</b>	<b>58</b>
5.1	<b>Lisboa</b>	<b>58</b>
5.1.1	Dados Climáticos	58
5.1.2	Dados referentes aos vãos envidraçados segundo a orientação e estação	58
5.2	<b>Guarda</b>	<b>64</b>
5.3	<b>Lagos</b>	<b>65</b>
5.4	<b>Portalegre</b>	<b>67</b>
5.5	<b>Caso de estudo em Lisboa – Piso intermédio – 2º andar</b>	<b>77</b>
5.6	<b>Lisboa – Orientação Solar – Este – Oeste</b>	<b>83</b>
5.7	<b>Norma EN ISO 13790 - 5R1C</b>	<b>89</b>
<b>6.</b>	<b>Conclusões</b>	<b>93</b>
<b>7.</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>96</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>98</b>
8.1	<b>ANEXO I</b>	<b>98</b>
8.1.1	RCCTE	98
8.2	<b>ANEXO B</b>	<b>110</b>
8.2.1	REH	110
8.2.2	Valores de referência – Lisboa – 1º caso de estudo	116
8.3	<b>ANEXO C</b>	<b>119</b>
8.4	<b>ANEXO D</b>	<b>120</b>

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Valores de Inércia térmica no interior de um edifício – adaptado de Dec Lei n.º 80/2006.....	19
Fig. 15 - $\alpha$ - ângulo da pala horizontal, medido a partir do ponto médio do vão envidraçado. Fonte: adaptado de Dec Lei n.º 80/2006 .....	25
Tabela 2 – Valores limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento consoante as zonas - adaptado de Dec Lei n.º 80/2006.....	28
Tabela 3 – Intervalo de graus-dias consoante a zona .....	33
Tabela 4 – Intervalo de temperaturas consoante a zona.....	33
Tabela 5 – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento, $F_{w,v}$ – adaptado de Despacho-Lei n.º 15793-K/2013.....	36
Tabela 6 – Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativos, $F_{mv}$ – adaptado de Despacho-Lei n.º 15793-K/2013. ....	37
Tabela 7 – Fatores de orientação para as respetivas exposições solares .....	42
Tabela 8 – Fração envidraçada – adaptada do Despacho-Lei n.º 15793-K/2013.....	42
Tabela 9 - Respetivas áreas das divisões do caso de estudo .....	53
Tabela 10 – Índices na estação de arrefecimento e aquecimento para cada regulamento.....	56
Tabela 11 – Dados climáticos em Lisboa.....	58
Tabela 12 – Dados referentes aos vãos envidraçados – orientação N/S .....	59
Tabela 13 – Coeficientes de transferência de calor .....	60
Tabela 14– Comparação de ganhos na estação de Aquecimento (kWh/ano).....	60
Tabela 15– Comparação de ganhos na estação de Arrefecimento (kWh/ano).....	61
Tabela 16– Perdas de calor no verão e inverno (kWh/ano) .....	61
Tabela 17 – Valores nominais globais anuais de energia.....	61
Tabela 18– Comparação dos dados climáticos entre os dois regulamento em Guarda (kWh/ano) .....	64
Tabela 19– Comparação de ganhos na estação de Aquecimento (kWh/ano).....	64

Tabela 20– Comparação de ganhos na estação de Arrefecimento (kWh/ano).....	65
Tabela 21– Valores de transferência de calor no verão e inverno (kWh/ano) .....	65
Tabela 22 – Comparação dos dados climáticos entre os dois regulamento em Lagos (kWh/ano) .....	65
Tabela 23 – Comparação de ganhos na estação de Aquecimento (kWh/ano).....	66
Tabela 24 – Comparação de ganhos na estação de Arrefecimento (kWh/ano).....	66
Tabela 25 – Valores de transferência de calor no verão e inverno (kWh/ano) .....	67
Tabela 26 – Comparação dos dados climáticos entre os dois regulamento em Portalegre (kWh/ano).....	67
Tabela 27– Comparação de ganhos na estação de Aquecimento (kWh/ano).....	67
Tabela 28– Comparação de ganhos na estação de Arrefecimento (kWh/ano).....	68
Tabela 29 – Valores de transferência de calor no verão e inverno (kWh/ano) .....	68
Tabela 30 - Valores obtidos e de referência para todas as localidades em estudo com o RCCTE. .....	75
Tabela 31 - Valores obtidos e de referência para todas as localidades em estudo com o REH..	75
Tabela 32– Classe energética para as quatro localidades.....	76
Tabela 33– Intervalos de valor de $R_{Nt}$ para determinar a classe energética.....	76
Tabela 34– Classe energética para as quatro localidades.....	76
Tabela 35– Coeficiente de transferência de calor. ....	77
Tabela 36– Comparação de ganhos na estação de Aquecimento (kWh/ano).....	78
Tabela 37– Comparação de ganhos na estação de Arrefecimento em kWh/ano.....	78
Tabela 38– Valores das perdas de calor no verão e inverno em kWh/ano.....	79
Tabela 39 – Valores nominais globais anuais de energia.....	80
Tabela 40 – Classe energética do caso de estudo ‘ piso intermédio’ .....	81
Tabela 41 – Comparação dos dois regulamentos para os dois casos em Lisboa – 3º andar e 2º andar .....	82
Tabela 42 – Dados referentes aos vãos envidraçados – orientação E-O .....	83
Tabela 43 – Comparação de ganhos na estação de Aquecimento (kWh/ano).....	84
Tabela 44 - Comparação de ganhos na estação de Arrefecimento (kWh/ano) .....	85

Tabela 45 – Perdas de calor no verão e inverno (kWh/ano) .....	85
Tabela 46 – Valores nominais globais anuais de energia.....	86
Tabela 47 – Classe energética do caso de estudo com orientação E/O .....	89
Tabela 48 – Valores nominais de energia útil para aquecimento.....	90
Tabela 49 – Valores obtidos dos parâmetro graus-dias e radiação a Sul para os meses de inverno .....	90
Tabela 50 – Valores nominais de energia útil para arrefecimento .....	91
Tabela 51 – Valores da temperatura e radiação para a estação de arrefecimento .....	92

## Índice de Figuras

Fig. 1 - Consumo final de energia na UE em 2012 – Fonte: Eurostat, 2012.....	1
Fig. 2 –Balanço energético entre a energia primária e final em Portugal – Fonte: DGEG 2013..	2
Fig. 3 –Dependência energética em Portugal – Fonte: DGEG 2013.....	2
Fig. 4 – Esquema das 3 formas de transmissão de calor conforme a estação. Fonte: adaptada de Gonçalves, 2006. ....	5
Fig. 5 – Condução térmica. Fonte: Crv.educacao.mg.gov.br, 2014.....	6
Fig. 6 – Esquema da convecção em meios diferentes - Ar (à esquerda) e líquido (à direita) Fonte: Fisica.ufpr.br, - Meteorologia Básica atual. 2014.....	6
Fig. 7 – Esquema de como se processa a radiação Fonte: Fisica.ufpr.br, - Meteorologia Básica, atual. 2014. ....	7
Fig. 8 – Esquema de uma habitação com um sistema de ventilação natural. Fonte: <a href="http://www.solerpalau.pt/formacion_01_39.html">http://www.solerpalau.pt/formacion_01_39.html</a> .....	8
Fig. 9 – ‘Efeito da inércia térmica na temperatura do ar interior’. Fonte: Rodrigues, Braga e Canha, 2009.....	10
Fig. 10 – Esquema dos Regulamentos implementados em 2006 – Fonte: imagem adaptada de <i>Caixiave</i> , 2010.....	13



Fig. 11 – Balanço energético numa habitação. Fonte: <a href="http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&amp;v=capitulo&amp;c=2568">http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&amp;v=capitulo&amp;c=2568</a> .....	15
Fig 12 – Balanço energético consoante a estação de arrefecimento e aquecimento. Fonte: Silva, 2006. ....	15
Fig. 13 - Portugal Continental – Zona. climática inverno (à esquerda) e de verão (à direita). Fonte: Camelo <b>et al</b> , 2006. ....	16
Fig. 14 – Representação de uma habitação e as suas respetivas envolventes – Fonte: adaptado de Camelo <b>et al</b> , 2006.....	17
Fig. 16 - Fatores de sombreamento $F_o$ e $F_f$ . Fonte: Rodrigues, Braga e Canha, 2009. ....	25
Fig. 17 – Classe energética RCCTE. Fonte: ADENE, 2009 .....	32
Fig. 18 – Zonas climáticas para a estação de aquecimento e arrefecimento. Fonte: Adaptado de Dec Lei n.º 118/2013 .....	33
Fig. 19 – Cinco resistências e uma capacitância – modelo 5R1C (à esquerda) e Diferentes métodos de cálculo para energia útil de aquecimento e arrefecimento (à direita). Fonte: EN ISO 13790, 2008.....	52
Fig. 20 – Planta do caso de estudo – T3 .....	55
Fig. 21 – Mapa de Portugal Continental realçando as respetivas localizações que vão ser abordadas – Fonte: Gonçalves e Graça, 2006. ....	57
Fig. 22 - Comparação das necessidades globais anuais de energia útil (à esquerda) e comparação das necessidades globais anuais primárias em $\text{kWh}_{Ep}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ (à direita) .....	62
Fig. 23 – Percentagem de energia primária por tipo de uso sem fontes renováveis ( $\text{kWh}_{Ep}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ ) .....	62
Fig. 24 - Diferença percentual para as necessidades anuais globais entre o RCCTE e REH (à esquerda) e para os valores máximos das necessidades nominais de energia no RCCTE e REH (à direita) .....	63
Fig. 25 – Ganhos de aquecimento nas quatro localidades com aplicação do RCCTE e do REH	70
Fig. 26 – Ganhos de arrefecimento nas quatro localidades com aplicação do RCCTE e do REH .....	71
Fig. 27 – Perdas de calor no inverno e no verão nas quatro localidades com aplicação do RCCTE e do REH .....	72
Fig. 28 – Necessidades nominais anuais de energia útil para as quatro localidades.....	73

Fig. 29 – Necessidades globais anuais de energia primária para as quatro localidades.....	74
Fig.30 – Ganhos na estação de aquecimento no piso intermédio.....	78
Fig. 31 – Ganhos na estação de arrefecimento no piso intermédio.....	79
Fig. 32 - Perdas de calor no inverno e no verão para o piso intermédio .....	79
Fig. 33 –Comparação das necessidades globais anuais de energia útil (à esquerda) e das necessidades globais anuais primárias em $\text{kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2.\text{ano}$ (à direita) para o piso intermédio .....	80
Fig. 34 – Percentagem de energia primária por tipo de uso sem fontes renováveis para o piso intermédio ( $\text{kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2.\text{ano}$ ).....	80
Fig. 35 – Diferença de percentagens entre o RCCTE e o REH para os valores das necessidades de energia útil em $\text{kWh}/\text{m}^2.\text{ano}$ , (à esquerda) e para os valores das necessidades nominais de energia primária. ( $\text{kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2.\text{ano}$ ) (à direita).....	81
Fig. 36 – Ganhos na estação de aquecimento com a orientação E/O.....	85
Fig. 37 – Ganhos na estação de arrefecimento com a orientação E/O .....	85
Fig. 38 – Perdas de calor no inverno e no verão com a orientação E/O.....	86
Fig. 39 –Comparação das necessidades globais anuais de energia útil (à esquerda) e das necessidades globais anuais primárias em $\text{kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2.\text{ano}$ (à direita) para a orientação E/O. ....	87
Fig. 40 – Percentagem de energia primária por tipo de uso sem fontes renováveis para a orientação E/O ( $\text{kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2.\text{ano}$ ) .....	87
Fig. 41 – Diferença de percentagens entre o RCCTE e o REH para os valores das necessidades de energia útil ( $\text{kWh}/\text{m}^2.\text{ano}$ ) (à esquerda) e para os valores das necessidades nominais de energia primária ( $\text{kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2.\text{ano}$ ) (à direita) para a orientação E/O.....	88
Fig. 42 – Necessidades nominais para energia útil de aquecimento em 12 meses, à esquerda $\text{kWh}/\text{mês}$ e à direita $\text{kWh}/\text{m}^2.\text{mês}$ . ....	90
Fig. 43 – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento em 12 meses, à esquerda $\text{kWh}/\text{mês}$ e à direita $\text{kWh}/\text{m}^2.\text{mês}$ . ....	92

## Índice de Siglas e Abreviaturas

a –	Coefficiente de absorção solar
$A_p$ –	Área útil de pavimento [ $\text{m}^2$ ]
$A_{\text{ext}}$ –	Área da envolvente exterior [ $\text{m}^2$ ]

$A_{int}$	Área da envolvente interior [ $m^2$ ]
$A_{env}$	Área de envidraçados [ $m^2$ ]
$b_{tr}$	Coefficiente de redução de perdas
$e$	Espessura [m]
$E_{solar}$	Energia solar para coletores solares
$E_{ren}$	Energia para quaisquer outras formas de energia renovável
$F_h$	Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos
$F_f$	Fator de sombreamento do vão envidraçado devido a elementos verticais adjacentes ao envidraçado
$F_{mv}$	Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram ativos.
$F_o$	Fator de sombreamento do vão envidraçado devido a elementos horizontais
$F_w$	Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados
$F_{pu}$	Fator de conversão entre energia útil e energia primária [kgep/kWh]
$FF$	Fator de forma
$G_{Sul}$	Energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul [kWh/ $m^2$ .mês]
$g_i$	Fator solar de Inverno
$g_v$	Fator solar de Verão
$g_T$	Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar ativos
$g_{Tp}$	Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanente existente
$g_{Tvc}$	Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar permanente, ou móvel totalmente ativado
$g_{Tmáx}$	Limite máximo admitido para os fatores solares de vãos envidraçados
$g_{\perp}$	Fator solar do vão envidraçado
$g'_{\perp}$	Fator solar do vão envidraçado com a proteção solar 100% ativa
$H_{adj}$	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com edifícios adjacentes [W/°C]
$H_{ecs}$	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com o solo [W/°C]
$H_{enu}$	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com espaços não-úteis [W/°C]
$H_{tr}$	Coefficiente de transferência de calor de elementos da envolvente em contato com o exterior [W/°C]
$I_t$	Inércia térmica [Kg/ $m^2$ ]
$I_i$	Vi S/N – Região climática do RCCTE de Inverno i, de Verão i Norte ou Sul, i=1,2 ou 3
$M$	Duração da estação de aquecimento [meses]
$M_{AQS}$	Consumo médio diário de referência [l/ocupante]
$N$	Norte

$N_a$	Valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias
$n_d$	Número atual de dias de consumo de águas quentes sanitárias
$N_{ic}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$N_i$	Valor máximo admissível para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$N_{vc}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$N_v$	Valor máximo admissível para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$N_{ac}$	Necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$N_a$	Valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$N_{tc}$	Necessidades globais de energia primária [RCCTE - kgep/m <sup>2</sup> .ano ; REH - kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano]
$N_t$	Valor máximo admissível de energia primária [RCCTE - kgep/m <sup>2</sup> .ano ; REH - kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano]
$P_d$	Pé-direito [m]
$q_i$	Ganhos térmicos internos médios [W/m <sup>2</sup> ]
$Q_t/Q_{tr}$	Transferência de calor por transmissão através da envolvente [kWh]
$Q_v/Q_{ve}$	Transferência de calor por ventilação [kWh]
$Q_{gu}$	Ganhos de calor úteis [kWh]
$Q_{ext}$	Transferência de calor através da envolvente em contato com o exterior [kWh]
$Q_{ina}$	Transferência de calor através da envolvente em contato com locais não-aquecidos [kWh]
$Q_i$	Ganhos térmicos internos [kWh]
$Q_s$	Ganhos solares térmicos [kWh]
$Q_g$	Ganhos térmicos brutos [kWh]
$R$	Resistência térmica [m <sup>2</sup> .°C/W]
$R_{ph}$	Taxa de renovação de ar [h <sup>-1</sup> ]
$R_t$	Razão entre $N_{tc}$ e $N_t$ , para cálculo da classe energética
$S$	Sul
$tep$	Tonelada equivalente de petróleo
$U$	Coefficiente de transmissão térmica (nas coberturas $U_{Inv}$ – referente ao Inverno, $U_{Ver}$ –referente ao Verão) [W/m <sup>2</sup> .°C]
$X_j$	Fator de orientação
$\alpha$	Ângulo do horizonte [°]
$\beta$	Ângulo de obstrução [°]
$\eta_a$	Eficiência do sistema de apoio de produção de águas quentes sanitárias
$\eta_i$	Eficiência do sistema de aquecimento ambiente
$\eta_v$	Eficiência do sistema de arrefecimento ambiente
$\Psi$	Coefficiente de transmissão térmica linear
$\theta_i$	Temperatura interior [°C]

- $\theta_e$  – Temperatura exterior [°C]  
 $\lambda$  – Condutibilidade térmica [W/m.°C]  
 $\Delta T$  – Variação da Temperatura [°C]  
 $\eta$  – Fator de utilização dos ganhos térmicos

## **Abreviaturas**

- AQS – Águas Quentes Sanitárias  
AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado  
COP – Coeficiente of Performance (eficiência de climatização)  
DGGE – Direção-Geral de Geologia e Energia  
DL – Decreto-Lei  
GD – Graus-dias [°C]  
RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios  
RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios  
REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação  
RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços  
SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar em Edifícios

# 1. Introdução

## 1.1 Enquadramento do tema

Atualmente, o cenário energético é cada vez mais preocupante para a população mundial. A Europa continua a depender em mais de 40% de petróleo e 25% em gás natural para satisfazer as suas necessidades energéticas, logo é dependente energeticamente em mais de 70% de outros países fora da Europa (Eurostat, 2010).

Em 2008 a União Europeia aprovou o Pacote Energia-Clima 20/20/20 que tem objetivos políticos propostos para 2020, nomeadamente: redução da fatura energética nas empresas e habitações; oferta de um abastecimento de energia sem falhas ou interrupções; garantia da sustentabilidade e diminuição do impacto ambiental nas áreas de produção; transporte e utilização da energia de uma forma eficiente. É pretendido através deste pacote, aumentar a utilização de energias renováveis em 20%, assim como a eficiência energética para 20%, e, conseqüentemente, a redução de emissões de CO<sub>2</sub> em 20%, comparativamente com o que foi verificado em 1990 (Comissão Europeia, 2013).

Para isso, é necessário um investimento no setor da transformação energética em relação ao consumo doméstico; ao consumo industrial e no setor dos transportes, para evitar ineficiência no uso da energia. O setor de edifícios corresponde a 40% da energia final da Europa, sendo que um terço do mesmo se deve ao consumo nos edifícios de serviços (escritórios, escolas, hospitais). Mais de metade deste consumo pode ser diminuído através da aposta em medidas de eficiência energética, o que pode significar uma redução de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (ADENE, 2006).

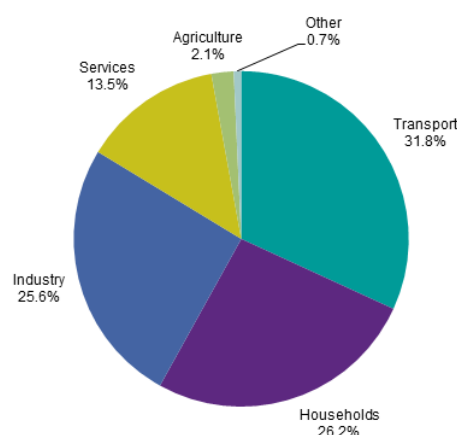


Fig. 1 - Consumo final de energia na UE em 2012 – Fonte: Eurostat, 2012.

No caso de Portugal, o consumo das energias primária e final tem vindo a decrescer desde 2005 até aos dias de hoje. O consumo final de energia em 2013 sofreu um decréscimo em 1,2%, devido à redução no consumo de derivados de petróleo e gás natural. Por outro lado, o consumo de energia primária aumentou 0,5%, devido ao consumo no sector energético (+28%), e ao consumo como matéria-prima (+37%) (DGEG 2013).

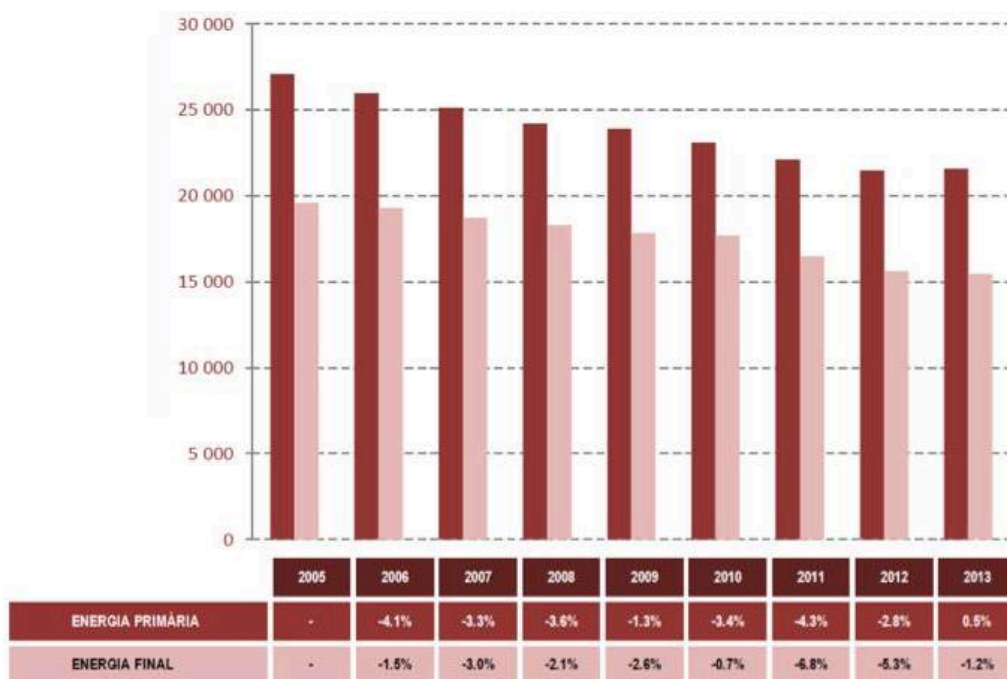


Fig. 2 –Balanço energético entre a energia primária e final em Portugal – Fonte: DGEG 2013.

A figura seguinte relata a dependência energética em Portugal entre 2005 e 2013. Como é verificado a dependência tem vindo a diminuir, exceto em 2008, 2011 e 2012. Os anos que apresentaram menores percentagens foram em 2010 e 2013.

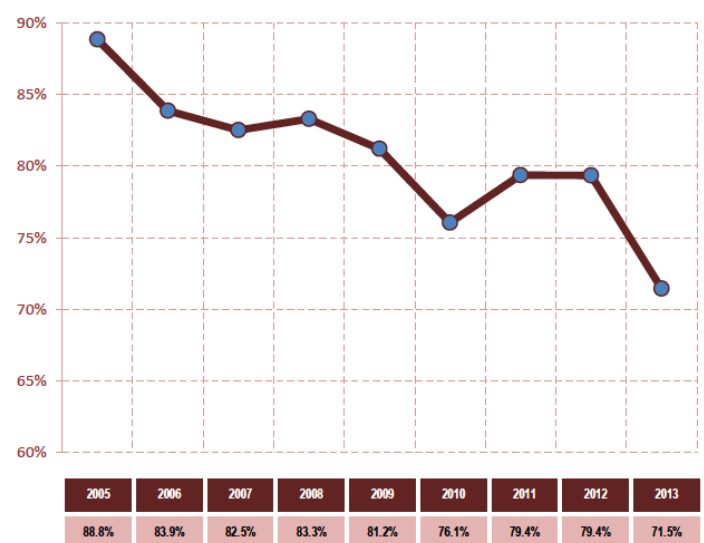


Fig. 3 –Dependência energética em Portugal – Fonte: DGEG 2013.

O grande declínio que se deu em 2013 ‘apresenta um valor de 7,9% devido à redução do consumo de carvão e gás natural na produção de energia elétrica, dado que a produção doméstica subiu 21%. Isto deve-se também aos grandes contributos da produção de hídrica, a qual teve um aumento de 127%, e energia eólica que por sua vez aumentou 17%’ (DGEG 2013).

Em 2012, segundo a ADENE, o sector residencial é constituído por 3,9 milhões de alojamentos, o que contribui em 17,7% para o consumo de energia final, e representa 30% do consumo de eletricidade. Outra razão pela qual este aumento de consumo de energia se deve, é a ineficiência dos equipamentos utilizados no sector residencial, assim como os hábitos de utilização dos mesmos. Este facto deve-se não só a hábitos comportamentais dos ocupantes mas também devido ao período de substituição dos equipamentos (ADENE, 2012).

Determinados fatores contribuem para um aumento do consumo de energia final pois influenciam desnecessariamente as necessidades de aquecimento e arrefecimento. São estes: o isolamento térmico, que é reduzido nos elementos da envolvente opaca; as pontes térmicas na envolvente do edifício; a humidade (que afeta o desempenho energético e a durabilidade do edifício); o parco investimento nas proteções solares em vãos envidraçados; a fraca ventilação (que provoca sobreaquecimento nas estações quentes diminuindo a qualidade do ar interior), e por fim, perdas desnecessárias de calor devido a problemas de transmissão térmica nas portas e vãos envidraçados. (DGGE, 2004).

Este elevado consumo de energia conduz a uma necessidade urgente de melhoria da eficiência energética nos edifícios, sejam estes de serviços ou habitação, sendo cada vez mais recorrentes os programas de poupança a nível energético para a população.

## 1.2 Objectivos

Com este trabalho pretende-se entender o método de cálculo subjacente a cada regulamento térmico e identificar as diferenças principais.

O principal objetivo desta dissertação é a comparação e análise dos regulamentos para edifícios de habitação no contexto da legislação portuguesa e normas europeias (RCCTE, REH e 5R1C), através de um caso de estudo.

O caso de estudo consiste num apartamento de tipologia T3 com variações ao nível da orientação e localização. Os índices utilizados na comparação são:

- ♦ Localização;



- ♦ Orientação solar;
- ♦ Piso do edifício;
- ♦ Ganhos/perdas consoante cada estação.

Posto isto, é importante frisar em que ponto é que a implementação do novo regulamento afeta a classe energética, e de seguida tirar as conclusões necessárias justificando onde é que cada regulamento se insere melhor.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

Para uma melhor percepção e entendimento da dissertação, o trabalho foi dividido em 6 capítulos.

No primeiro capítulo foi definido o enquadramento geral, os objetivos e a estrutura do tema do estudo em questão.

O segundo capítulo consiste em explicar a transmissão de calor num edifício, e, conseqüentemente, os parâmetros que estão dependentes, como, por exemplo, trocas de calor por condução através da envolvente, renovação do ar, ganhos solares pela envolvente opaca e vãos envidraçados, e inércia térmica dos edifícios.

No terceiro capítulo foi abordada a legislação portuguesa relativa ao desempenho energético de edifícios residenciais, sendo feita uma breve explicação do sistema legislativo e a elucidação dos regulamentos relevantes que o trabalho aborda.

O quarto capítulo consiste na apresentação do caso de estudo, no que diz respeito à geometria, elementos construtivos, tipologia, localização e variações paramétricas,

O quinto capítulo compreende a análise dos resultados do caso de estudo com as variações paramétricas assumidas, através da aplicação das metodologias estudadas: RCCTE, REH e 5R1C.

Por fim, no sexto capítulo são tecidas as conclusões finais.

## 2. Metodologia ou Estado de Arte

### 2.1 Fenómenos de transmissão de calor

A transferência de calor através da envolvente tem por base três processos de transferência: condução, convecção e radiação.

Antes de explicar devidamente os três processos de transferência de calor, é pertinente ilustrar como os três métodos se correlacionam em função das estações inverno e verão. A imagem que se segue mostra como promover/reduzir os ganhos/perdas que ocorrem nas distantes estações.

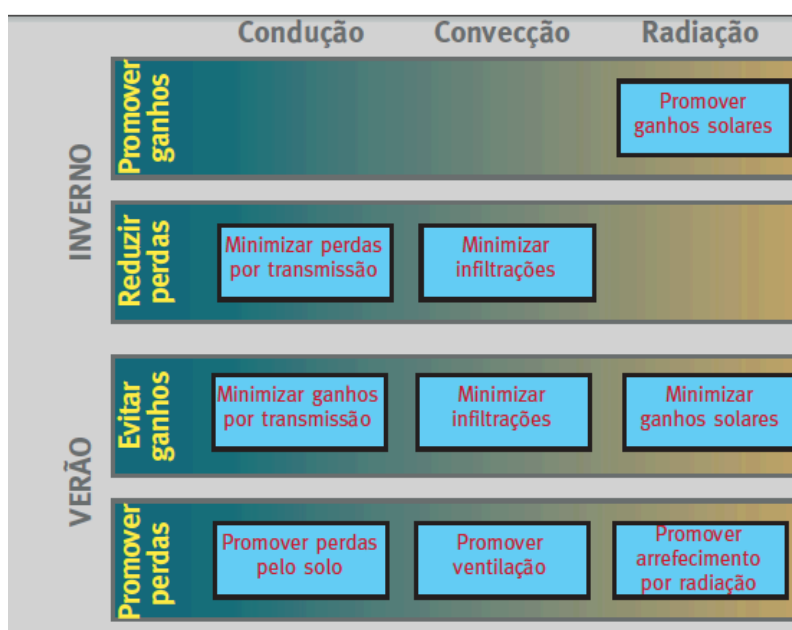


Fig. 4 – Esquema das 3 formas de transmissão de calor conforme a estação. Fonte: adaptada de Gonçalves, 2006.

#### 2.1.1 Condução

A condução é uma das formas mais recorrentes de se dar transferência de energia entre partículas mais energéticas sob a forma de calor, designada como térmica, o que consiste na troca entre partículas que compõe o sistema em questão. Um bom exemplo para este fenómeno consiste em, posicionar uma das extremidades de uma barra metálica numa superfície de calor, e após algum tempo, a outra extremidade verifica-se estar aquecida. A razão pela qual isto acontece, deve-se ao facto de as partículas pelas quais o material é constituído receberem energia e isso provoca agitação nestas sendo o calor transferido desta maneira até à outra extremidade.

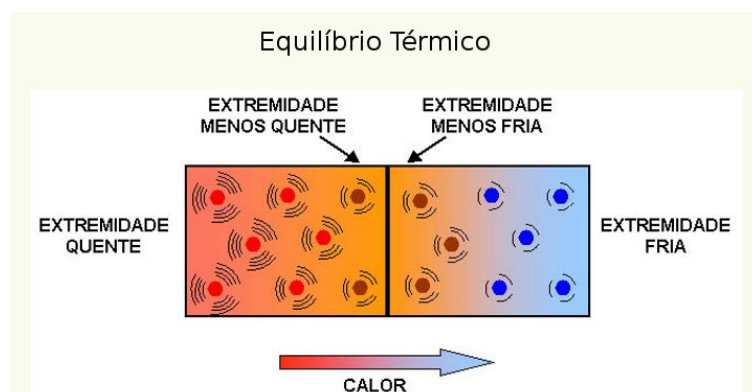


Fig. 5 – Condução térmica. Fonte: Crv.educacao.mg.gov.br, 2014

### 2.1.2 Convecção

A convecção é um processo de transferência de calor que ocorre nos líquidos, consiste na transmissão de calor entre zonas que apresentam diferentes temperaturas. O calor é essencialmente transportado através das partículas do fluido que se encontra em movimento. Por exemplo, ao colocar água a ferver, a parte que se encontra mais perto do lume vai ser a primeira a aquecer. Quando esta aquece, sofre um processo de expansão e fica menos densa do que a água que se encontra na superfície, logo a água mais quente desloca-se para ficar por cima, enquanto a parte que se encontra a uma temperatura inferior move-se para baixo. Este fenómeno é como um ciclo, ocorre várias vezes e cria uma corrente de convecção, que surge devido à diferença entre densidades, consequentemente fazendo que o calor seja transferido para todo o líquido. Este processo é mais complexo do que a condução, devido às diferenças de pressão criadas por gradientes térmicos (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

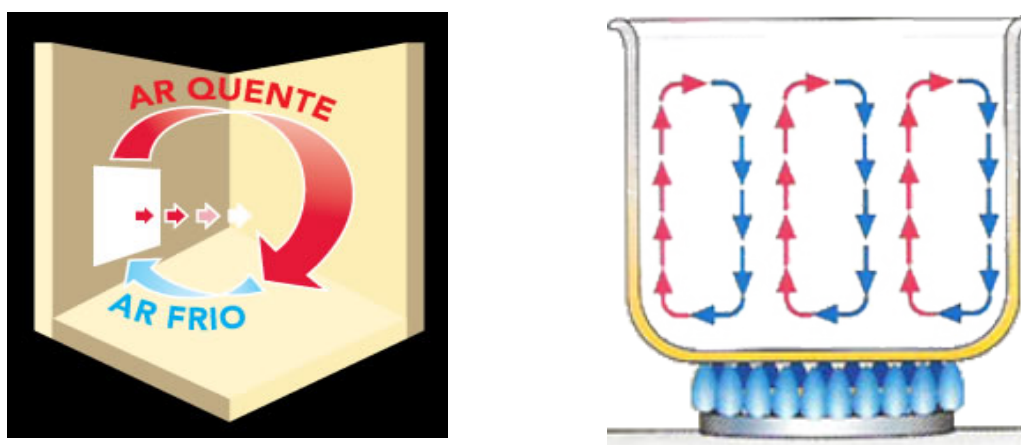


Fig. 6 – Esquema da convecção em meios diferentes - Ar (à esquerda) e líquido (à direita) Fonte: Fisica.ufpr.br, - Meteorologia Básica atual. 2014.

### 2.1.3 Radiação

A radiação térmica é o último processo pertencente às trocas de calor pela envolvente. Enquanto os processos descritos anteriormente, necessitam de matéria para ocorrerem, este dá-se de uma forma mais eficiente no vácuo, que consiste em emitir energia pela matéria que se encontra a uma temperatura não-nula. ‘Este mecanismo pode ser encarado como um transporte de energia por fotões emitidos pela excitação de moléculas ou átomos do material ou, por outro lado, pode ser assimilado a um transporte de energia por ondas eletromagnéticas’ (Rodrigues, Braga e Canha, 2009). Por mais que este processo esteja associado à radiação a partir de superfícies sólidas, a emissão pode ocorrer a partir de líquidos e gases. Face à irradiação de um corpo existe absorção, reflexão e/ou transmissão.

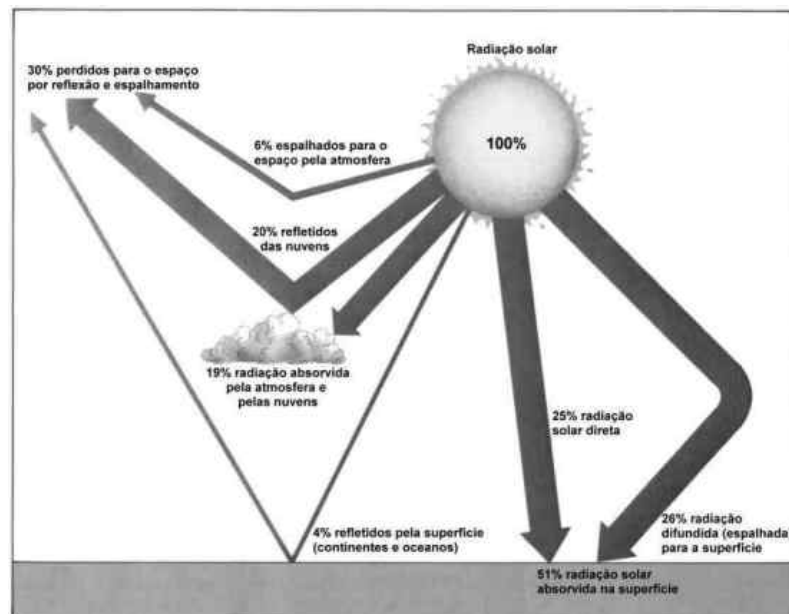


Fig. 7 – Esquema de como se processa a radiação Fonte: Física.ufpr.br, - Meteorologia Básica, atual. 2014.

## 2.2 Variáveis térmicas

### 2.2.1 Renovação do Ar - $R_{ph}$

‘Por forma a manter boas condições no âmbito do ar interior, os edifícios devem ser ventilados: por via natural, que é a situação mais comum em edifícios de habitação, ou por ventilação mecânica, o mais utilizado em edifícios com sistemas de climatização centralizados. Nos processos utilizados na construção, surge a necessidade de ventilação para o conforto dos ocupantes. Este processo tem como fim a renovação do ar que se encontra no interior de um edifício’ (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

A ventilação natural, advém das variações de pressão que o ar exerce num edifício, que podem ter origem no vento ou na diferença de densidade do ar interior pelo exterior. Fatores que influenciam este fenómeno podem ser, por exemplo, a orientação das aberturas para o exterior, assim como, a posição dos compartimentos e a exaustão do ar interior através de mesmos como as casas de banho e as cozinhas.

Portanto, para que se dê uma ventilação natural mais eficiente, deve-se garantir alguns destes fatores, de seguida, citados:

- ♦ Existirem aberturas de entrada de ar situadas em todos os compartimentos da fração autónoma, assim como dispositivos que garantam que o ar circule entre os compartimentos e as respetivas ligações destes.
- ♦ Que não exista qualquer equipamento mecânico com fim a extrair o ar nas casas de banho.
- ♦ Conduitas com fim a evacuar o ar em todos os compartimentos existentes (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

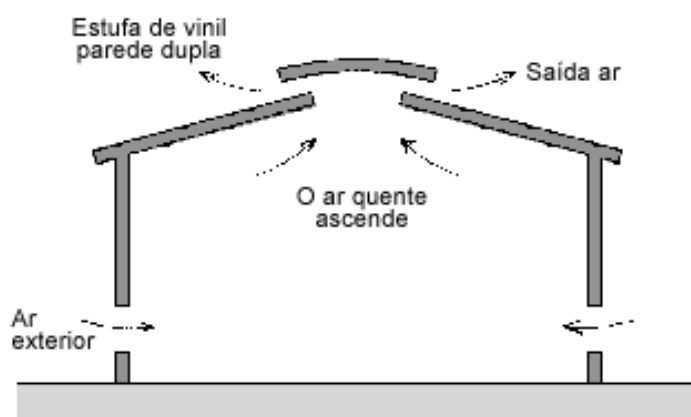


Fig. 8 – Esquema de uma habitação com um sistema de ventilação natural. Fonte: [http://www.solerpalau.pt/formacion\\_01\\_39.html](http://www.solerpalau.pt/formacion_01_39.html)

### 2.2.2 Ganhos Solares através dos envidraçados e envolvente opaca

Dado que os ganhos solares produzidos pelos envidraçados e envolvente opaca são um fator relevante e influente, é necessária uma breve introdução sobre o processo de radiação solar.

A radiação solar global que a Terra recebe é constituída pela radiação direta – que atravessa a atmosfera em todas as direções; e a radiação difusa – que a Terra recebe após inúmeras reflexões nas partículas em suspensão na atmosfera (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

A envolvente opaca consiste em paredes, coberturas e pavimentos. A transmissão de calor entre as superfícies interiores e exteriores, acontece sob a forma de condução através da envolvente. Os ganhos térmicos no verão e as perdas térmicas no inverno são fatores significativamente influentes no comportamento térmico de um edifício. É desta forma que acontecem os ganhos e perdas energéticas, sendo assim fulcral a escolha do tipo de material para a construção e isolamento térmico devido ao impacto que causa na respetiva inércia térmica.

Quanto aos ganhos solares através dos vãos envidraçados, considera-se que parte da radiação total que incide no vidro é refletida para o exterior, outra é absorvida pelo vidro e, por fim, a restante é transmitida diretamente para o interior do local. Essas frações são dadas pela refletividade global ( $\rho_s$ ), transmissividade global ( $\tau_s$ ) e absorvidade global ( $\alpha_s$ ). É importante notar que esses termos resultam da integração da radiação solar para todo o espectro e dependem do ângulo de incidência. Consequentemente, para determinados ângulos de incidência, as curvas espectrais que estão diretamente relacionadas com o comprimento de onda da radiação, dependem da cor do vidro e espessura (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

### **2.2.3 Ganhos internos**

Os ganhos internos são uma parcela que resulta de qualquer fonte de energia, seja química ou elétrica num edifício. Os ocupantes de um edifício, sejam moradores ou trabalhadores, no âmbito residencial ou profissional, são uma das principais fontes de ganhos internos de calor, dado que o processo de libertação de calor advém do resultado da atividade metabólica, processo este muito relevante por exemplo em edifícios de grande dimensão, como centros comerciais, cinemas, (assumindo que está muita gente no local ou seja, um número elevado de indivíduos/número populacional elevado) (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

Equipamentos como fogões, frigoríficos, computadores, televisões, e iluminação elétrica são uma componente influente para o aumento dos ganhos internos, por outro lado, ar condicionados ou mesmo outros elementos que tenham como função climatizar o ambiente interno de uma habitação, embora sejam fontes de energia interna, não são contabilizados no termo dos ganhos internos (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

No verão, os ganhos internos são desfavoráveis uma vez que, quando excessivos, contribuem para o estabelecimento de condições de desconforto térmico. É importante frisar que no inverno, ocorrem ganhos de calor, o que é favorável para os ocupantes e a nível económico energético, pois desta forma evita-se desperdício/gasto de energia vindo de outras fontes, como por exemplo mecanismos de ventilação forçada.

## 2.2.4 Armazenamento de calor pela inércia térmica

Para terminar este capítulo, é relevante salientar a importância da inércia térmica para toda a envolvente energética numa habitação, sendo um dos parâmetros que contribui para a atenuação térmica de um edifício, em termos físicos significa que os materiais que compõem a envolvente vão absorver ou libertar o calor, em tempos distintos dos máximos e mínimos que ocorreriam caso não existisse armazenamento de calor. Este termo consiste na capacidade que o edifício apresenta para não ir na sequência das variações de temperatura que ocorrem no seu interior, pois os elementos que constituem toda a envolvente exterior e interior armazenam energia sob a forma de calor, a qual só é libertada após algum tempo. (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

Este parâmetro é fulcral em localidades que sofrem de grande amplitude térmica, como, por exemplo, Guarda e Portalegre, que serão objeto de estudo no capítulo 5.

A análise dos materiais de construção aplicados nos edifícios, é bastante importante neste âmbito, devido à sua massa, calor específico e condutibilidade térmica. Para a inércia térmica ser relevante ao ponto de o edifício não ficar sujeito a essas variações de amplitude térmica, é importante que na construção do mesmo sejam utilizados materiais resistentes, como pedra, betão, tijolo e estuques. Para que seja mais eficiente, é ainda favorável a utilização de isolamento térmico, pois este promove a conservação de energia, evitando perdas e conseguindo controlar a temperatura superficial (Rodrigues, 2009).

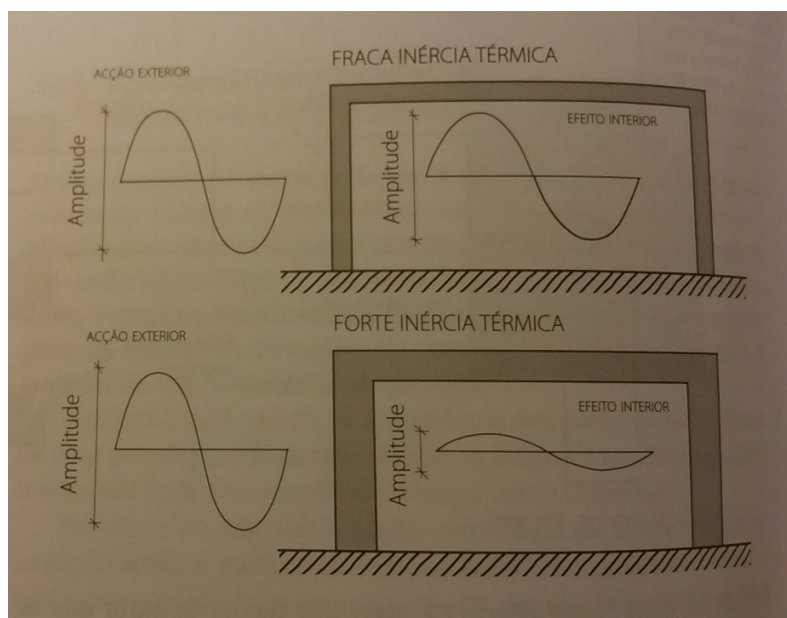


Fig. 9 – ‘Efeito da inércia térmica na temperatura do ar interior’. Fonte: Rodrigues, Braga e Canha, 2009.

### **3. Necessidades energéticas dos edifícios**

#### **3.1 Legislação – Enquadramento Político-Legal**

Ao longo dos anos o consumo energético tem vindo a aumentar exponencialmente, a sua utilização é dependente de combustíveis fósseis, dado a preocupação e o problema que isso apresenta, implicou a criação de estratégias e optimização das condições térmicas.

Em 1998 assinou-se o Protocolo de Quioto, tendo Portugal iniciado o compromisso em reduzir os seus consumos energéticos e as emissões dos gases de efeito de estufa.

Em 1990, surge a primeira regulamentação térmica em Portugal, o Decreto Lei 40/90 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), através da Diretiva 93/76/CE, que fundamentava o aumento da eficiência energética dos edifícios (Alves, 2001 e Dec Lei, 1990).

O objetivo deste regulamento foi introduzir e melhorar os fatores térmicos e energéticos, essencialmente para aperfeiçoar o conforto térmico sem consequentemente aumentar o consumo de energia. A primeira versão deste regulamento, permitiu a implementação da colocação constante do recurso referente aos isolamentos térmicos na construção, tendo sido o primeiro Regulamento Europeu a ter em conta o conforto térmico na estação de arrefecimento (Alves, 2001).

#### **3.2 Evolução**

##### **3.2.1 Diretiva Europeia 2002/91/CE**

O objetivo da Diretiva Europeia 2002/91/CE era melhorar o desempenho energético dos edifícios, exigindo requisitos mínimos, como por exemplo o cumprimento da certificação energética para edifícios novos e para edifícios que sejam reabilitados com mais de 1000 m<sup>2</sup>.

Incluía também a qualificação de técnicos para a certificação, com um intervalo de tempo de 5 anos, com intenção de garantir que os edifícios cumprissem os requisitos mínimos para a sua utilização. ([http://www.aipex.es/bioclimatico\\_po.php?idioma=po&s=2](http://www.aipex.es/bioclimatico_po.php?idioma=po&s=2) )

Em suma esta Diretiva apresenta alguns objetivos chave, como por exemplo

- Informar os consumidores que comprem, alugam ou arrendam um edifício
- Reabilitar edifícios mais antigos a fim de melhorar o seu desempenho energético



- Garantir que os edifícios cumpram a legislação
- Criar condições favoráveis para melhorar a qualidade térmica dos edifícios
- Aumentar a eficiência no setor dos edifícios e reduzir o seu respetivo consumo energético, de forma a contribuir para a emancipação da UE no que diz respeito a combustíveis fósseis, e também para cumprir os objetivos do Protocolo de Quioto (Directiva 2002/91/CE).

### 3.3 SCE

Em Abril de 2006, devido à Diretiva Europeia 2002/91/CE, foram publicados em Portugal três documentos legislativos, que estiveram a ser utilizados até 30 de Novembro de 2013, os documentos são: Decreto-Lei nº78/2006 – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), e consequentemente mais dois regulamentos que são fulcrais para o funcionamento do SCE, o Decreto-Lei nº70/2006, que corresponde ao Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE), que consistia em disposições para o controlo regular de todos os equipamentos; e o Decreto-Lei nº80/2006 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Segundo o Artigo 2.º do Decreto-Lei nº78/2006, o objetivo do SCE era garantir a aplicação dos regulamentos, mais concretamente no que diz respeito às condições da eficiência energética, a garantia da qualidade do ar interior (QAI), de acordo com os dois regulamentos que foram criados, assegurar a certificação da desempenho energético, realçar as medidas de correção do desempenho possível a aplicar nos edifícios e os respetivos sistemas de energia, como por exemplo, caldeiras, equipamentos de aquecimento/arrefecimento.

Este regulamento abrange os novos edifícios e edifícios já construídos que necessitem de reabilitação. A gestão deste compete à ADENE e ao DGGE – Direção-Geral de Geologia e Energia

Em suma, estes regulamentos introduziram algumas modificações relevantes para o desempenho energético dos edifícios e introduziram mudanças no que diz respeito a hábitos/conceitos de construção, consequentemente sem acontecer um acréscimo de despesas e simultaneamente melhorar a qualidade do ar do meio em causa.

Como o caso de estudo é um edifício residencial não se explora no presente o documento o RSECE.



Fig. 10 – Esquema dos Regulamentos implementados em 2006 – Fonte: imagem adaptada de *Caixiave*, 2010.

### 3.3.1 RCCTE

O RCCTE é o regulamento que estabelece as regras a seguir no projeto de edifícios de habitação e serviço sem sistemas para climatização, a fim de promover o conforto térmico a todos os ocupantes que frequentam/vivem no local. Este quantifica os requisitos para as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento; que as necessidades de água quente sanitárias sejam satisfeitas de uma forma eficiente e, sempre que possível, com recurso a fontes renováveis de energia, nomeadamente coletores solares. O RCCTE para além destas verificações parcelares respeitantes a cada um dos tipos de consumo referidos, impõe ainda limites ao consumo global que decorre da utilização de energia para estes fins (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

Enquanto esteve em vigor o RCCTE aplicava-se a novas ou antigas habitações sem sistemas de climatização centralizados ou com sistemas de climatização com uma potência de 25 kW ou menos, e pequenos edifícios de serviço com uma área igual ou inferior a 1000 m<sup>2</sup>.

Este regulamento tem por resultado final um conjunto de fichas e folhas de cálculo que demonstram a conformidade regulamentar:

Ficha n.º 1 – Demonstração da conformidade regulamentar para emissão da licença de construção incluindo mapa de valores nominais para o edifício;

Ficha n.º 2 – Levantamento Dimensional;

Ficha n.º 3 – Comprovação de satisfação de requisitos mínimos para a envolvente de edifícios;

Folhas de Cálculo FC IV – Cálculo das Necessidades de Aquecimento:

- i) Perdas associadas à envolvente exterior – Folha de cálculo FC IV.1a ( $Q_{ext}$ ,  $Q_{pe}$ ,  $Q_{pt}$ )
- ii) Perdas associadas à envolvente interior – Folha de cálculo FC IV. 1b ( $Q_{ina}$ ).
- iii) Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores – Folha de cálculo FC IV.1c ( $Q_{ext}$ ).
- iv) Perdas associadas à renovação do ar – Folha de cálculo FC IV. 1d ( $Q_v$ ).
- v) Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno) – Folha de cálculo FC IV. 1e ( $Q_{gu}$ ).
- vi) Valor máximo das necessidades de aquecimento – Folha de cálculo FC IV. 1f ( $N_i$ ).
- vii) Cálculo do indicador  $N_{ic}$  – Folha de cálculo FC IV. 2.

Folhas de Cálculo FC V – Cálculo das Necessidades de Arrefecimento

- i) Perdas – Folha de cálculo FC V.1a ( $Q_1^-$ ,  $Q_3$ )
- ii) Perdas associadas à cobertura e envidraçados exteriores – Folha de cálculo FC V. 1b ( $Q_1^-$ ).
- iii) Ganhos solares pela envolvente opaca – Folha de cálculo FC V.1c ( $Q_1^+$ ).
- iv) Ganhos solares pelos envidraçados exteriores – Folha de cálculo FC V. 1d ( $Q_2$ ).
- v) Ganhos internos – Folha de cálculo FC IV. 1e ( $Q_{gu}$ ).
- vi) Ganhos totais na estação de arrefecimento (verão) – Folha de cálculo FC V. 1f.
- vii) Valor das necessidades nominais de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) – Folha de cálculo FC V. 1g

Ficha n.º4 – Conformidade regulamentar para emissão de licença de utilização (DL 80/2006)

A metodologia de cálculo do RCCTE assenta no estabelecimento do balanço de energia em condições nominais, com base nas trocas de calor entre os ambientes exteriores e interiores de um edifício ou fração autónoma.

No inverno, tem por objetivo garantir que a temperatura do ambiente interior da fração seja mantida num valor constante, que permita satisfazer as exigências para o conforto térmico.

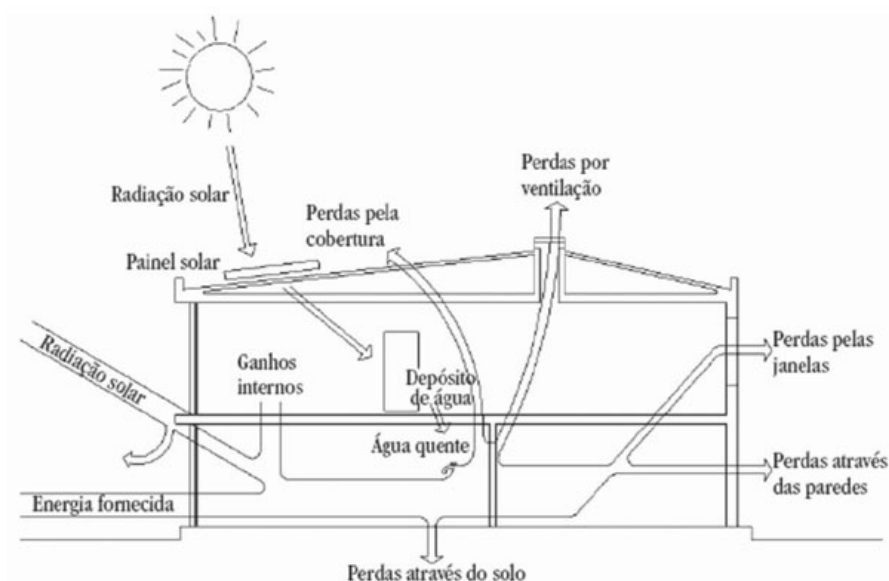


Fig. 11 – Balanço energético numa habitação. Fonte: <http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=2568>

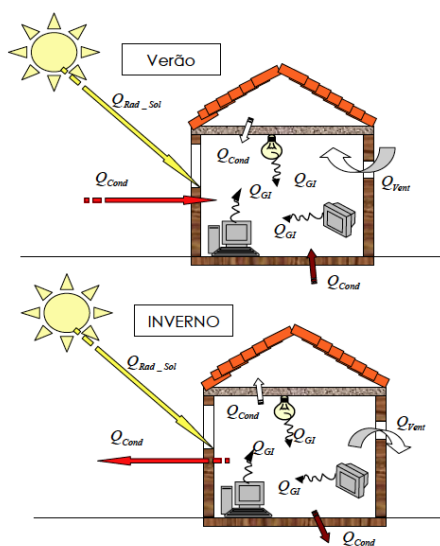


Fig 12 – Balanço energético consoante a estação de arrefecimento e aquecimento. Fonte: Silva, 2006.

### 3.3.1.1 Análise Climática no RCCTE

Os parâmetros relevantes na análise climática neste regulamento são o zonamento climático e os dados de referência por concelho. Portugal encontra-se dividido em três zonas de Inverno ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ), e em três zonas de verão ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ). Na seguinte figura encontra-se a divisão das zonas em questão (RCCTE, Anexo III, Secção 1.1).

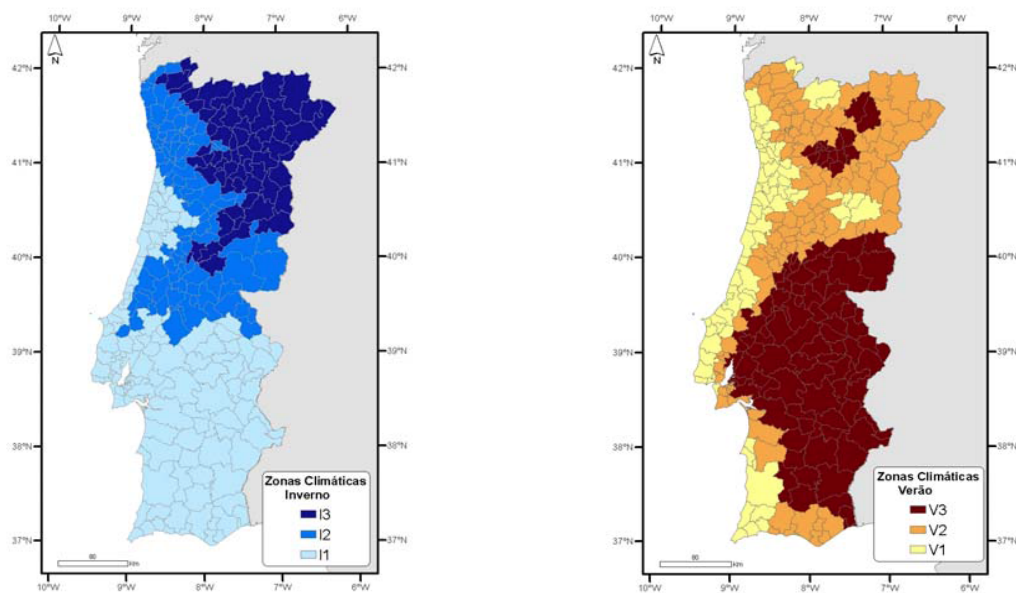


Fig. 13 - Portugal Continental – Zona. climática inverno (à esquerda) e de verão (à direita). Fonte: Camelo et al, 2006.

O número de graus-dias de aquecimento é o que diferencia a zona climática de inverno, enquanto que a zona climática de verão é definida pela temperatura média exterior do local, sendo equivalente à média da temperatura seca do ar exterior entre 1 de junho a 30 de setembro (Dec Lei n.º.80/06).

Em relação aos dados climáticos de referência, estes estão indicados por concelho, estando disponibilizados no RCCTE, Anexo III, Quadro III.1

- ♦ Zona climática de inverno
- ♦ Número de Graus-dias de aquecimento na base de 20°C (GD<sub>20</sub>)
- ♦ Duração da estação de Aquecimento (meses)
- ♦ Zona climática de verão
- ♦ Temperatura exterior do local (°C)
- ♦ Amplitude térmica (°C)

### 3.3.1.2 Definição da envolvente

O termo ‘envolvente’ significa aquilo que abrange, engloba. Ao aplicar esta definição aos edifícios entende-se como a delimitação física que separa o interior da fração do edifício do ambiente exterior ou outros espaços que não integram a fração. A envolvente exterior é a que delimita o espaço interior do exterior. A envolvente interior é a delimitação do interior da fração autónoma com espaços não climatizados, nomeadamente garagens, anexos, armazéns e edifícios adjacentes. O ambiente interior que não está climatizado é designado como espaço não-útil. É o caso de locais fechados e espaços que não estão constantemente ocupados pelos moradores, como garagens, sótãos e caves.

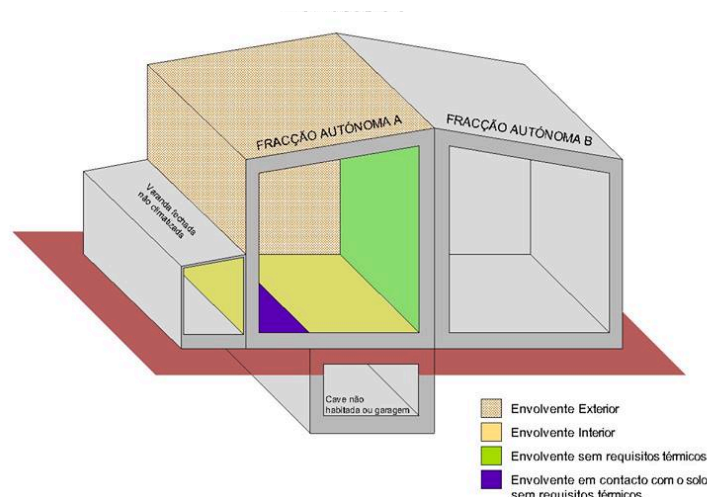


Fig. 14 – Representação de uma habitação e as suas respetivas envolventes – Fonte: adaptado de Camelo *et al*, 2006.

### 3.3.1.3 Coeficientes de transmissão térmica – U

O coeficiente de transmissão térmica – U – é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma área unitária por variação de temperatura entre os ambientes que os limitam.

Para calcular U deverá ter-se em conta que depende de fatores construtivos, como por exemplo se os elementos construtivos são camadas homogéneas ou heterogéneas e se existem espaços de ar – caixas de ar – entre os respetivos elementos construtivos.

Há valores de coeficientes de transmissão térmica que estão tabelados na publicação realizada pelo LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, este documento oferece uma lista variada com os valores dos coeficientes e as respetivas resistências ( $R_{Si}$ ,  $R_{Se}$ ) e as resistências das caixas de ar.

Quando o valor dos coeficientes não se encontra tabelado é necessário realizar o cálculo indicado para obter o valor, que se demonstra da seguinte forma:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (1)$$

em que significa:

$R_j$  – resistência térmica da camada  $j$

$R_{si}$ ,  $R_{se}$  – resistência térmica superficial interior e exterior ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

A resistência é obtida pela razão entre a espessura e a condutibilidade térmica da camada.

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j} \quad (3.1)$$

em que

$e_j$  – espessura do elemento  $j$  (m)

$\lambda_j$  – condutibilidade térmica do material  $j$  ( $W/m \cdot ^\circ C$ )

#### 3.3.1.4 Inércia térmica

Como foi referido no subcapítulo 2.2.4, a inércia térmica é um parâmetro que consiste no comportamento térmico de um edifício, em que é conservado energia sob a forma de calor, estando diretamente proporcional à massa útil dos materiais integrantes do edifício.

A inércia térmica assume as unidades  $kg/m^2$  e é calculada da seguinte forma:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \times S_i}{A_p} \quad (3.2)$$

onde os termos presentes na equação significam:

$M_{si}$  – massa útil do elemento ( $kg/m^2$ )

$S_i$  – área da superfície interior do elemento ( $m^2$ )

A massa útil do elemento mantém uma relação diretamente proporcional com a inércia térmica, isto é, quanto maior for o valor da massa, maior irá ser a sua inércia térmica.

Tabela 1 – Valores de Inércia térmica no interior de um edifício – adaptado de Dec Lei n.º 80/2006

Classe de inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área útil de pavimento, $I_t$ (kg/m <sup>2</sup> )
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

Para obter o valor da massa útil dos elementos deve conhecer-se a constituição e o posicionamento face ao interior dos elementos contrutivos. Quando é referido o posicionamento, significa onde especificamente se encontram os elementos que constituem o isolamento térmico.

No Anexo A.2 encontra-se o gráfico referente à inércia térmica em função do fator de utilização dos ganhos térmicos.

### 3.3.1.5 Taxa de Renovação de ar – Ventilação Natural

No ponto 3 do Anexo IV do RCCTE é explicado o método de cálculo para os valores a utilizar para a taxa de renovação de ar para os edifícios de habitação. O regulamento dispõe que se os edifícios não respeitarem as condições estabelecidas a norma NP 1037-1, considera-se uma taxa de renovação igual a  $0.6h^{-1}$ . Quando não existe suficiente informação referente à ventilação utilizada, assume-se que o edifício não segue a norma NP1037-1, o que significa que se tem de recorrer ao Quadro IV.1 do RCCTE (Anexo A.1). A partir da classificação da classe da caixa de estore, a existência de dispositivos de admissão de ar na fachada e a classe de exposição ao vento, consegue-se retirar o valor em  $h^{-1}$  para a taxa de renovação de ar.

Para se obter o grau de exposição do edifício face ao vento, devem considerar-se as seguintes condições:

- Rugosidade do local
- Região onde se encontra a habitação
- Altura a que o edifício se encontra

No grupo da rugosidade do local, este dividia-se em três partes:

- Rugosidade I – edifícios localizados no interior de uma zona urbana
- Rugosidade II – edifícios localizados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural



- Rugosidade III – edifícios localizados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento).

A altura do edifício divide-se em quatro escalões:

- Menor que 10m
- De 10m a 18m
- De 18m a 28m
- Superior a 28m

Era possível agregar estes três parâmetros e assim recorrer ao Quadro IV.2 do Anexo IV do regulamento e retirar a classe de exposição que podia ser 1, 2, 3 ou 4.

Para a escolha da classe era necessário recorrer ao Quadro IV.1 do Anexo IV que se encontra no Anexo I – Tabela 01-

Sem classificação *	Classe 1	Classe 2	Classe 3
---------------------	----------	----------	----------

\* ( A permeabilidade ao ar das caixilharias é superior ao que é admitido para classe 1)

Existiam duas regiões consideradas, A ou B – a primeira era referente a todo o território português, exceto os locais que estavam incluídos na região B, como as regiões autónomas da Madeira e Açores e regiões situadas numa faixa junta à zona costeira de 5 km de largura e zonas com uma altitude superior a 600m.

Em suma, os valores típicos da renovação de ar ( $R_{ph}$ ) estão indicados no Quadro IV.1 do Anexo IV do RCCTE que se encontra no Anexo A.1. Os valores foram estipulados caso a área máxima dos vãos envidraçados ( $A_{env}$ ) seja igual a 15% da área de pavimento ( $A_p$ ), caso seja superior é agravado  $0,1h^{-1}$  no valor da renovação de ar.

### 3.3.1.6 Fator solar

Como já foi referido no capítulo 2 do trabalho, os ganhos solares têm um papel fundamental no aquecimento/arrefecimento de uma habitação.

No RCCTE, no inverno é citado ‘ no cálculo do fator solar de vãos envidraçados do setor residencial, salvo justificação em contrário, deve ser considerada a existência, pelo menos, de cortinas interiores muito transparentes de cor clara’ para toda a área do vidro.

Em seguimento desta condição, os vidros simples incolores verificavam um valor de 0,7 e para vidros duplos 0,63 (Dec Lei n.º80/2006). Por outro lado, os vidros que não apresentam este padrão, como por exemplo vidros coloridos, refletores incolores etc, devem ser calculados através das seguintes equações:

$$\diamond \quad g_{\perp} = \frac{g'_{\perp} \times g_{\perp v}}{0,85} \quad (3.3)$$

$$\diamond \quad g_{\perp} = \frac{g'_{\perp} \times g_{\perp v}}{0,75} \quad (3.4)$$

em que os parâmetros significam o seguinte:

$g_{\perp}$  - fator solar do vão envidraçado

$g'_{\perp}$  – fator solar do vão envidraçado com proteção solar e vidro incolar

$g_{\perp v}$  – fator solar do vidro diferente

No caso do fator solar do envidraçado, como o regulamento cita, ‘ deve ser tomado com dispositivos de sombreamento móveis ativos a 70%’, (Dec Lei n.º 80/2006), sobrando então 30% que estão diretamente a captar a energia solar. As proteções solares podem ser fixas ou móveis.

O quadro V.4 do RCCTE demonstra os valores associados ao fator solar de vãos envidraçados com vários dispositivos de proteção para vidros incolores correntes, ver Anexo A.9.

### 3.3.1.7 Necessidades nominais de energia útil para aquecimento $N_{ic}$

As necessidades nominais de energia útil para aquecimento de um edifício consistem na necessidade que a habitação necessita para se abastecer durante a estação de Inverno, portanto quanto maior for o valor deste parâmetro significa fisicamente que o edifício encontra-se muito frio, logo tem um impacto maior quanto à dependência energética para assim atingir condições de referência.

A fórmula específica para calcular esta necessidade é a seguinte:

$$N_{ic} = \frac{Q_t + Q_v - Q_{gu}}{A_p} \quad (3.5)$$

em que cada membro é tomado como:

$Q_t$  – Perdas de calor por transmissão através da envolvente (kWh)

$Q_v$  – Perdas de calor por ventilação (kWh)

$Q_{gu}$  – Ganhos de calor úteis, obtidos pelos ganhos solares dos vãos envidraçados, ocupantes, iluminação, equipamentos (kWh)

$A_p$  – Área útil do pavimento ( $m^2$ )

O termo  $Q_t$ , era calculado através de um somatório de todas as perdas de calor através da envolvente em contato com o meio exterior ( $Q_{ext}$ ), em contato com locais não aquecidos ( $Q_{lna}$ ), paredes e pavimentos em contato com o solo ( $Q_{pe}$ ) e por fim em contato com pontes térmicas lineares ( $Q_{pt}$ ).

$$Q_t = Q_{ext} + Q_{lna} + Q_{pe} + Q_{pt} \quad (3.6)$$

As perdas de calor resultantes por ventilação –  $Q_v$  – eram uma multiplicação das perdas de calor por unidade de tempo relativas à renovação do ar interior.

$$Q_v = 0,024 \times 0,34 \times R_{ph} \times A_p \times P_d \times G_D \times (1 - \eta_v) \quad (3.7)$$

Em que:

$R_{ph}$  – Número de renovações horários do ar interior ( $h^{-1}$ )

$A_p$  – Área útil do pavimento ( $m^2$ )

$P_d$  – Pé direito (m)

$G_D$  – Graus-dias do local ( $^{\circ}C.dias$ )

$\eta_v$  – Rendimento do sistema de recuperação de calor, quando este não existe assume-se  $\eta_v = 0$

Os ganhos de calor úteis para o cálculo das necessidades úteis de aquecimento é obtido através dos ganhos térmicos brutos ( $Q_g$ ), por um fator de utilização dos ganhos térmico ( $\eta$ ) – este advém de por vezes existir um sobreaquecimento interior, logo:

$$Q_{gu} = Q_g \times \eta \quad (3.8)$$

o fator  $\eta$  é calculado da seguinte forma:

$$\diamond \quad \eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \text{ se } \gamma \neq 1 \quad (3.9)$$

$$\diamond \quad \eta = \frac{a}{a+1} \text{ se } \gamma = 1 \quad (3.10)$$

o valor  $a$  pode assumir os seguintes valores

$a = 1,8$  – inércia fraca

$a = 2,6$  – inércia média

$a = 4,2$  – inércia forte

por fim:

$$\gamma = \frac{\text{ganhos térmicos brutos}}{\text{Nec.brutas de aquecimento}} = \frac{Qg}{Qt+QV} \quad (3.11)$$

Os ganhos térmicos brutos  $Q_g$  resultam de:

$$Qg = Qi + Qs \quad (3.12)$$

em que  $Q_i$  representa os ganhos térmicos internos que são obtidos pelos ocupantes da habitação e  $Q_s$  advém dos ganhos solares absorvidos pelos vãos envidraçados

$$Qi = qi \times M \times Ap \times 0,72 \quad (3.13)$$

que revela:

$q_i$  – ganhos térmicos internos médios por unidade de área

$M$  – duração da estação média da estação de aquecimento (meses) (Quadro III.1 RCCTE)

Quanto aos ganhos solares brutos dos vãos envidraçados, a sua expressão matemática vem de:

$$Qs = G_{sul} \times \sum_j [X_j \times \sum_n A_{snj}] \times M \quad (3.14)$$

em que:

$G_{sul}$  – valor médio mensal da irradiação solar incidente numa superfície vertical orientada a Sul durante a estação de Inverno ( $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{mês}$ ) (Anexo A.11)

$X_j$  – fator de orientação para as diferentes exposições (Anexo A.15)

$A_{snj}$  – área efetiva coletora de radiação solar da superfície  $n$  que tem orientação  $j$  ( $\text{m}^2$ )

A área efetiva é calculada através de:

$$As = A \times F_s \times F_g \times F_w \times g_{\perp} \quad (3.15)$$

$F_s$  – fator de obstrução;

$F_g$  – fração envidraçada para diferentes tipos de caixilharia (Anexo A.16)

$F_w$  – fator de correção de seletividade angular dos envidraçados

$g_{\perp}$  – fator solar do vão envidraçado

O fator de seletividade dos envidraçados mostrava o decréscimo dos ganhos solares devido à difusão dos diferentes tipos de vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta e verificava um valor de 0,9 para vidros simples e duplos.

No RCCTE afirma que “em relação ao fator de obstrução –  $F_s$ , varia entre 0 e 1 e representa a redução a redução na radiação solar que incide no vão envidraçado devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos, por exemplo:

- Obstruções exteriores ao edifício: outros edifícios, orografia, vegetação;
- Obstruções criadas por elementos do edifício: outros corpos do mesmo edifício, palas varandas, elementos de enquadramento do vão externos à caixilharia.” (Dec Lei n.º 80/2006)

O fator de obstrução pode ser obtido pela seguinte fórmula:

$$F_s = F_h \times F_o \times F_f \quad (3.16)$$

em que assumem o significado:

$F_h$  – fator de sombreamento do horizonte por obstruções distantes exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

$F_o$  – fator de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado, por exemplo palas, varandas;

$F_f$  – fator de sombreamento por elementos verticais contíguos ao envidraçado, por exemplo palas verticais;

O fator de sombreamento do horizonte estava dependente da latitude, do ângulo do horizonte, orientação, estação e localização.

Quando não era indicado o valor do ângulo do horizonte ( $\alpha$ ), era assumido 45° para ambientes urbanos e 20° para edifícios que se encontravam fora de zonas urbanas. De seguida, para obter o ângulo, verificava-se o valor de  $F_h$ , (Anexo A.3), conforme a sua orientação, quando eram ângulos superiores a 45°, assumia-se o valor correspondente a 45°.

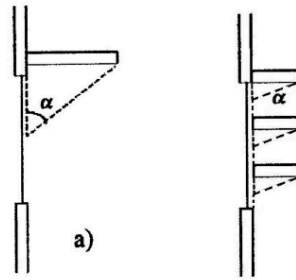


Fig. 15 -  $\alpha$  - ângulo da pala horizontal, medido a partir do ponto médio do vão envidraçado. Fonte: adaptado de Dec Lei n.º 80/2006

No caso do  $F_o$  e  $F_f$ , dependem do ângulo de obstrução, exposição solar, estação, localização e latitude. No regulamento, para a estação de aquecimento, estes valores encontravam-se nas tabelas, IV.6 e IV.7 respetivamente, organizadas por orientação e os valores dos ângulos das palas obtidos através do ponto médio do envidraçado.

Em situações em que não havia informação acerca das palas verticais e horizontais, o efeito de sombreamento do contorno do vão era contabilizado, assumindo-se 0,9 – valor obtido através do produto entre  $F_o$  e  $F_f$ .

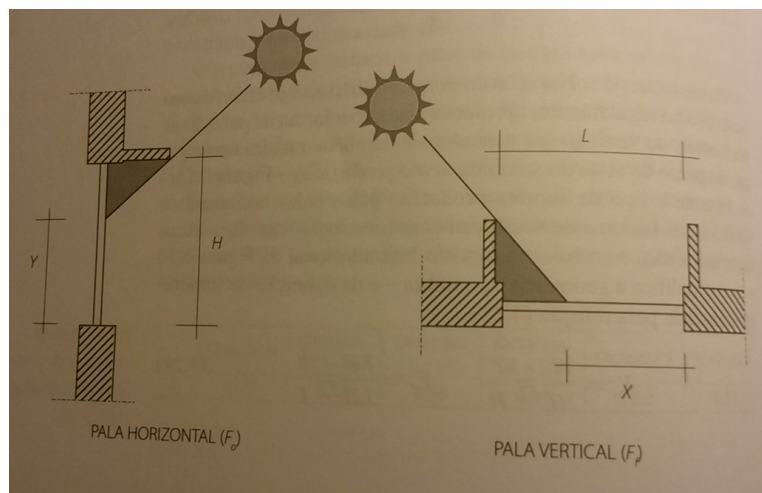


Fig. 16 - Fatores de sombreamento  $F_o$  e  $F_f$ . Fonte: Rodrigues, Braga e Canha, 2009.

Devido à ao facto de existir sempre radiação incidente, difusa e refletida, apesar do vão envidraçado se encontrasse totalmente sombreado pelo horizonte, ou por elementos horizontais, verticais ou adjacentes, era citado que a relação entre o fator de obstrução ( $F_s$ ) e o fator de orientação  $X_j$  do envidraçado não podia ser inferior a 0,27.

O fator solar do vão envidraçado –  $g_{\perp}$  – resultava da relação entre o ganho de calor através do vão envidraçado e da radiação que incidia no envidraçado.

Contudo, as necessidades nominais de energia útil para aquecimento não podem ultrapassar o valor máximo das necessidades anuais de energia útil para aquecimento ( $N_i$ ).

$$N_{ic} \leq N_i \quad (3.17)$$

$N_i$  dependia do fator graus-dias de aquecimento com base em 20°C, obtido do Quadro III.1 do RCCTE em função do local, zona climática e fator de forma FF.

Para obter  $N_i$  é necessário:

O fator de forma – que consistia na razão entre o somatório das superfícies da envolvente exterior ( $A_{ext}$ ) e envolvente interior ( $A_{int}$ ), onde resultavam trocas de energia (calor), e o seu volume útil interior do local ( $V$ ).

$$FF = \frac{A_{ext} + \sum i (\tau \times A_{int})}{V} \quad (3.18)$$

Por fim, para calcular o valor máximo admissível para as necessidades anuais de energia útil de aquecimento, este estava condicionado pelo valor obtido do fator de forma

$$\begin{aligned} \diamond N_i &= 4,5 + 0,0395 \times GD & \text{se } FF \leq 0,5, \\ \diamond N_i &= 4,5 + (0,021 + 0,037 \times FF) \times GD & \text{se } 0,5 < FF \leq 1 \\ \diamond N_i &= [4,5 + (0,021 + 0,037 \times FF) \times GD] \times (1,2 - 0,2 \times FF) & \text{se } 1 < FF \leq 1,5 \\ \diamond N_i &= 4,05 + 0,06885 \times GD & \text{se } FF > 1,5 \end{aligned} \quad (3.19)$$

### 3.3.1.8 Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

As necessidades nominais de energia útil para arrefecimento consiste na energia que tem que ser extraída de um interior de uma habitação para que a temperatura não exceda os 25°C, no período entre junho e setembro (verão) e são calculadas através de:

$$N_{vc} = \frac{Q_g \times (1-\eta)}{A_p} \quad (3.20)$$

$Q_g$  – ganhos totais brutos do edifício (kWh)

$\eta$  – fator de utilização dos ganhos

Sempre que a temperatura supera os 25°C (valor de referência), devido aos ganhos internos e solares, ocorre um sobreaquecimento, e consequentemente estes ganhos causam desconforto aos ocupantes logo são considerados como ganhos excessivos ou necessidades de arrefecimento.

$$\gamma = \frac{Qg}{Qt + Qv} \quad (3.21)$$

em que  $\gamma$  é calculado como foi demonstrado na equação 3.21 e nesta estação  $Q_g$  é calculado por:

$$Qg = Qi + Qs + Qopaca \quad (3.22)$$

em que:

$Q_i$  – ganhos internos (kWh)

$Q_s$  – ganhos solares através dos vãos envidraçados (kWh)

$Q_{Opaco}$  – ganhos solares através da envolvente opaca (kWh)

Ao assumir que o verão se prelonga durante 4 meses, é o equivalente a 2928 horas, logo os ganhos internos são obtidos através de:

$$Qi = 2928 \times qi \times Ap \quad (3.23)$$

em que  $q_i$  são os ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil do pavimento, fornecido pelo Quadro IV.3 do RCCTE ( $W/m^2$ ). Para o cálculo dos ganhos solares através dos vãos envidraçados é através de:

$$Qs = \sum_j [I_{rj} \times \sum_n A_{snj}] \quad (3.24)$$

$I_{rj}$  – energia solar incidente seguindo a orientação  $j$ , segundo o Quadro III.9 do RCCTE.

$A_{snj}$  – área efetiva do vão  $n$  ( $m^2$ )

O  $Q_{opaco}$  são os ganhos solares através da envolvente opaca exterior e são obtidos através de uma junção da temperatura do ar exterior e radiação solar incidente.

$$Qopaco = 2928 \times \sum (U \times A) \times (\theta_m - \theta_i) + \sum (U \times A) \times \frac{\alpha \times I_r}{h_e} \quad (3.25)$$

$\alpha$  - coeficiente de absorção da superfície exterior da parede (Quadro V.5 do RCCTE)



$\theta_m$  – temperatura média do ar exterior no verão e no local onde se localiza o edifício (Quadro III.9 do RCCTE) (°C)

$\theta_{atm}$  – temperatura de referência do ambiente interior (°C)

$I_r$  – intensidade média da radiação incidente em cada orientação durante o verão (Quadro III.9 do RCCTE)

$U$  – coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente (W/m<sup>2</sup>)

$A$  – área da envolvente (m<sup>2</sup>)

$h_e$  – condutância térmica superficial exterior do elemento da envolvente, que assume o valor 25W/m<sup>2</sup>/°C

Dado que a temperatura convencional de conforto é 25°C e que a temperatura média do verão era inferior, e a primeira parcela da fórmula demonstrada representava as perdas e a segunda os ganhos

$$Q_{opaco} = 2928 \times \sum (U \times A) \times (\theta_m - \theta_i) \quad (3.26)$$

Como no caso das necessidades nominais úteis para aquecimento, o mesmo acontece com as de arrefecimento, isto é, em cada fração autónoma ou edifício, não era possível ultrapassar o valor máximo do limite das necessidades ( $N_v$ ), logo:

$$N_{vc} \leq N_v \quad (3.27)$$

Este valor encontrava-se tabelado no regulamento, consoante a zona climática, na tabela 2.3 do RCCTE (artigo 15º), os valores limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, indicado em função da zona climática do verão, e da direção Norte e Sul.

**Tabela 2 – Valores limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento consoante as zonas - adaptado de Dec Lei n.º 80/2006**

Zona V1 (Norte)	$N_v = 16 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
Zona V1 (Sul)	$N_v = 22 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
Zona V2 (Norte)	$N_v = 18 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
Zona V2 (Sul)	$N_v = 32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
Zona V3 (Norte)	$N_v = 26 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
Zona V3 (Sul)	$N_v = 32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
Açores	$N_v = 21 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
Madeira	$N_v = 23 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$

### 3.3.1.9 Necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias

–  $N_{ac}$

Nas habitações as águas quentes sanitárias, designadas por AQS são uma parcela significativa das necessidades nominais de energia primária. As condições de cálculo pressupõem que existe um aumento de 45°C face à temperatura da água da rede, com fins para utilização de banhos, lavagem de roupa, louça e outros. Os equipamentos recorrentes para o aquecimento da água são caldeiras, termoacumuladores elétricos e a gás, esquentadores.

Esta necessidade não era contabilizada no primeiro modelo do RCCTE, assim como a obrigatoriedade caso houvesse condições adequadas, a instalação de painéis solares térmicos.

As necessidades eram calculadas da seguinte forma

$$N_{ac} = \frac{\frac{Q_a}{\eta_a}(E_{solar} + E_{ren})}{A_p} \quad (3.28)$$

o que tem como significado:

$Q_a$  – energia útil gasta em sistemas convencionais de preparação AQS (kWh/ano)

$\eta_a$  – eficiência de conversão dos sistemas para preparação AQS

$E_{solar}$  – contribuição de sistemas coletores solares para AQS

$E_{ren}$  – contribuição de qualquer forma de energia renovável para a preparação de AQS, assim como qualquer solução para recuperar calor dos equipamentos

$A_p$  – área útil do pavimento (m<sup>2</sup>)

Para calcular a energia útil é da seguinte maneira:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d}{3600000} \quad (3.29)$$

em que:

$M_{AQS}$  – consumo médio diário de referência de AQS (40l/ocupante)

$\Delta T$  – variação da temperatura para a preparação de AQS (°C)

$n_d$  – número anual de dias para consumo de AQS.

Para a temperatura de referência, o RCCTE definia o valor de 60°C, assumia-se que a temperatura média anual da rede que a água era transportada seria de 15°C.

Nos edifícios de habitação, o consumo era dado por:

$$Maqs = 40l \times \text{número de ocupantes} \quad (3.30)$$

Através do Quadro VI.1 do RCCTE, é possível verificar o número de ocupantes por cada tipo de fração autónoma. No caso de serem edifícios de habitação, era assumido que a fração/habitação estaria ocupado 365 dias, logo era constante, portanto, assumia-se 365 dias (Quadro VI.2 do RCCTE).

Para a preparação AQS, era fornecida pelo fabricante do sistema solar térmico a eficiência da conversão do sistema, quando esta informação não era fornecida então recorria-se à ao Anexo VI, secção 3. Os valores apresentados neste anexo eram apresentados do equipamento com maior eficiência (0,95 com 100mm de isolamento) para o esquentador a gás com 0,5 de eficiência. Estes só eram aplicados se fosse considerado 10 mm de isolamento térmico nas redes de distribuição, se fosse diferente os valores tabelados sofriam uma redução de 0,1.

Quando não era definido o sistema a utilizar para preparação de AQS, considerava-se: um esquentador a gás ou GPL com 0,5 de eficiência, para edifícios com alimentação a gás, ou um termoacumulador elétrico com eficiência de 0,90 e isolamento de 5cm, para os restantes casos.

O regulamento refere a obrigatoriedade de utilizar para cada fração 1m<sup>2</sup> de coletor solar por ocupante, sem ultrapassar 50% da área de cobertura total disponível, em terraço ou nas vertentes orientadas no quadrante Sul. Deve assegurar-se a manutenção dos sistemas e equipamentos por um período mínimo de 6 anos. O valor da energia renovável ( $E_{solar}$ ) deve ser calculado através do SolTerm do INETI.

O valor máximo admissível para a contribuição das necessidades de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias ( $N_a$ ) era obtido por:

$$Na = \frac{0,081 \times Maqs \times nd}{Ap} \quad (3.31)$$

#### 3.3.1.10 Necessidades nominais globais de energia primária – $N_{ic}$

Estas necessidades eram um somatório das três parcelas de necessidades mostradas ao longo do regulamento, portanto estas eram calculadas da seguinte forma:

$$Ntc = 0,1 \times \frac{Nic}{\eta_{ic}} \times Fpui + 0,1 \times \frac{Nvc}{\eta_{vc}} \times Fpuv + Nac \times Fpua \quad (3.32)$$

em que:

$N_{ic}$  – necessidades nominais de energia útil para aquecimento ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ )

$\eta_{ic}$  – eficiência nominal dos equipamentos requeridos para os sistemas de aquecimento

$N_{vc}$  – necessidades nominais de energia útil para arrefecimento ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ )

$\eta_{vc}$  – eficiência nominal dos equipamentos requeridos para os sistemas de arrefecimento

$N_{ac}$  – necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ )

$F_{puj}$  – fatores de conversão entre a energia útil e energia primária consoante a fonte de energia primária ( $\text{kgep/kWh}$ )

Estes fatores de conversão de energia eram restringidos consoante a fonte de energia que era necessária, de acordo com o Art.18 do regulamento, eram assumidos valores como 0,290  $\text{kgep/kWh}$  para a eletricidade e 0,086  $\text{kgep/kWh}$  para combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos.

No ponto 2 do Art.18 estavam descritos os valores das eficiências nominais dos equipamentos a ser utilizados:

Resistência elétrica – 1

Caldeira a combustível gasoso – 0,87

Caldeira a combustível líquido – 0,8

Caldeira a combustível sólido – 0,6

Bomba de calor (para aquecimento) – 4

Bomba de calor (para arrefecimento) – 3

Máquina frigorífica (ciclo de compressão) – 3

Máquina frigorífica (ciclo de absorção) – 0,8

O valor de  $N_{ic}$  não podia ser superior ao valor de  $N_t$  sendo obtido através de:

$$N_t = 0,9 \times (0,01 \times N_i + 0,01 \times N_v + 0,15 \times N_a) \quad (3.33)$$

em que:

$N_i$  – valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para aquecimento ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ )

$N_v$  – valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ )

$N_a$  – valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ )

Após os valores estarem todos calculados era necessário obter a classe energética que o edifício ou fração autónoma se encontrava, para isso bastava calcular :

$$R = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (3.34)$$

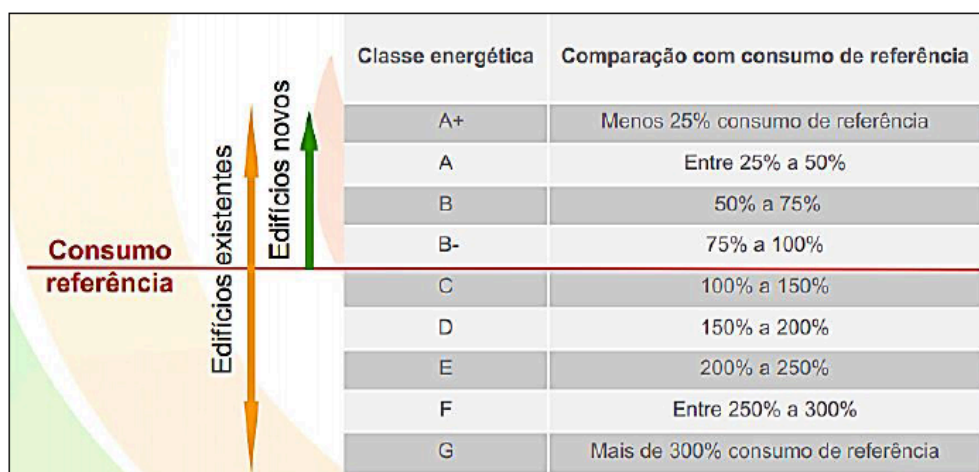


Fig. 17 – Classe energética RCCTE. Fonte: ADENE, 2009

### 3.3.2 REH

#### 3.3.2.1 Breve introdução

Com base no DL 80/2006, um novo regulamento térmico foi colocado em vigor em Dezembro de 2013, Decreto-Lei n.º 118/2013.

Para calcular os parâmetros fundamentais é necessário recorrer ao anexo da Portaria n. 249-B/2013, à portaria n.º 249-C/2013, assim como aos despachos n.º 15793- C/2013, n.º 15793- D/2013, 15793- F/2013, 15793- H/2013, 15793- I/2013, 15793- J/2013, 15793- K/2013.

Para uma simplificação da exposição este documento salienta apenas os aspetos que foram alterados face ao RCCTE.

#### 3.3.2.2 Dados climáticos

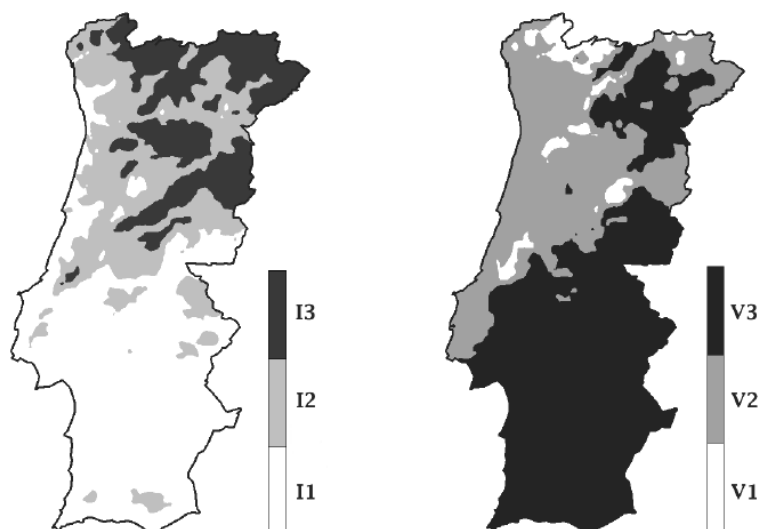


Fig. 18 – Zonas climáticas para a estação de aquecimento e arrefecimento. Fonte: Adaptado de Dec Lei n.º 118/2013

Ao contrário do que foi explicado no RCCTE, no REH as zonas climáticas de inverno são definidas com base no número de graus-dias calculadas para uma base de 18°C.

Tabela 3 – Intervalo de graus-dias consoante a zona

Zona	Intervalo
I <sub>1</sub>	GD ≤ 1300
I <sub>2</sub>	1300 < GD ≤ 1800
I <sub>3</sub>	GD > 1800

Os locais com temperaturas superiores a 22°C no verão, têm comparativamente a locais com temperaturas médias inferiores exteriores a 22°C verões muito mais rigorosos.

Tabela 4 – Intervalo de temperaturas consoante a zona

Zona	Intervalo
V <sub>1</sub>	$\theta_{\text{ext},v} \leq 20^{\circ}\text{C}$
V <sub>2</sub>	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{\text{ext},v} \leq 22^{\circ}\text{C}$
V <sub>3</sub>	$\theta_{\text{ext},v} > 22^{\circ}\text{C}$

Em suma, as regiões que apresentem um valor de graus-dias superior a 1800°C.dia, possuem uma estação de aquecimento mais severa do que, por exemplo, as regiões onde os graus-dias sejam inferiores a 1300°C.dias.

Em relação às zonas climáticas de verão, essas são diferenciadas consoante com a temperatura média exterior equivalente à estação convencional de arrefecimento

Para se saber o local onde o edifício está inserido é necessário aplicar a seguinte fórmula:

$$X = X_{ref} + a \times (z - z_{ref}) \quad (3.35)$$

em que:

X – Parâmetros climáticos

X<sub>ref</sub> – Valor de referencia do parâmetro climático

a – declive associado ao parâmetro climático

z – altitude do local onde se situa o edifício

z<sub>ref</sub> – altitude de referência do local

O parâmetro X pode tomar diversas variáveis consoante a estação pretendida, portanto na estação de arrefecimento:

- ♦ Temperatura exterior média
- ♦ Energia solar retida durante o verão (I<sub>sol</sub>), recebida na direção horizontal, isto significa que tem uma inclinação de 0° e em superfícies verticais inclinação de 90° para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, (kWh/m<sup>2</sup>).

Na estação de aquecimento:

- ♦ Graus-dias, na base de 18°C
- ♦ Duração da estação de aquecimento (M)
- ♦ Temperatura exterior média do mês mais frio do Inverno  $\theta_{ext,i}$
- ♦ Energia solar média mensal (G<sub>Sul</sub>), recebida numa superfície vertical orientada a Sul, em kWh/m<sup>2</sup>.ano

No B.1, encontram-se as tabelas referentes aos valores de referência e declives de ajuste para a estação de aquecimento e arrefecimento.

### 3.3.2.3 Taxa de renovação de ar

No subcapítulo 2.2.1 já foi elaborada uma introdução a este parâmetro. Neste novo regulamento a taxa de renovação de ar é dividida a partir das estações, no RCCTE assume-se apenas uma taxa de renovação para o ano inteiro, enquanto neste caso é dividido por:

$R_{ph_i}$  – taxa de renovação na estação de aquecimento que apresenta um valor limite de 0,4.

$R_{ph_v}$  – taxa de renovação na estação de arrefecimento que apresenta um valor limite de 0,6.

Estes valores são obtidos através de uma folha de cálculo fornecida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), encontra-se no Anexo C, o modelo tipo da folha de cálculo.

Os valores a indicar na folha de cálculo em questão são os seguintes:

- ♦ Número de fachadas expostas ao exterior;
- ♦ Tipo de edifício, isto é se é novo, habitação, unifamiliar ou multifamiliar;
- ♦ Morfologia do edifício – Pé direito médio, área útil, altura do edifício;
- ♦ Características quanto à permeabilidade;
- ♦ Dados sobre a zona climática (rugosidade, temperatura exterior, região);
- ♦ Contabilização da existência ou não de aberturas de admissão de ar na fachada;
- ♦ Tipo de ventilação a ser utilizada e condutas de ventilação natural;
- ♦ Distância aos edifícios adjacentes.

### 3.3.2.4 Fator solar

O que representa a razão entre a energia solar transmitida para um edifício através dos vãos envidraçados face à radiação solar incidente na direção normal do envidraçado é o fator solar do vão envidraçado que é representado por  $g_{\perp}$ .

No caso do fator solar do vidro, este é utilizado no fator do vão envidraçado, toma a representação  $g_{\perp,vi}$ , deve ser dado pelo fornecedor do vidro em questão, para que em casos em que não se tenha acesso a esse tipo de informação existe uma tabela no regulamento que indica o fator a utilizar consoante a cor, a composição do vidro, simples ou duplo e a respetiva espessura, ver Anexo B.5.



No inverno é considerado que os dispositivos de proteção solar móvel estão desativados, isto é totalmente abertos para aproveitar e rentabilizar o máximo de energia solar que incide no vão envidraçado. Nestes casos não existem dispositivos de sombreamento, fazendo automaticamente que o fator solar de Inverno seja igual ao fator solar do vidro para que ocorra uma incidência da radiação normal à superfície do vão, corrigida de um fator de seletividade angular, designado por  $F_w$ , que representa a diferença da incidência da radiação solar, proveniente da orientação, assumindo a seguinte equação:

$$g_i = F_{w,i} \times g_{\perp,vi} \quad (3.36)$$

onde  $F_w$  é a relação dos ganhos solares provocada pelas características do vidro com o ângulo que incide proveniente da radiação solar e que assume o valor de 0,9 para o inverno.

No verão é assumido que os dispositivos de proteção solar móvel encontram-se ativos uma fração de tempo, consoante a exposição do vão e é apresentando na seguinte fórmula:

$$g_v = F_{mv} \times g_t + (1 - F_{mv}) \times g_{tp} \quad (3.37)$$

que apresenta os seguintes significados:

$F_{mv}$  – fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móvel se encontram ativos.

$g_t$  – fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes ou móveis totalmente ativos.

$g_{tp}$  – fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes.

No inverno quando o último fator envidenciado não existe, para o fator solar do vidro, a fração de tempo –  $F_w$  toma o valor que foi descrito na explicação da equação 3.36 mas na estação de arrefecimento não assume apenas um valor, vai variando caso seja um vidro simples ou duplo e está dependente da orientação a qual se encontra o vão envidraçado. Na tabela seguinte encontram-se os valores para esta variável.

Tabela 5 – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento,  $F_{w,v}$  – adaptado de Despacho-Lei n.º 15793-K/2013.

Orientação do vidro	$F_{w,v}$				
	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W
Vidro plano simples	0,85	0,90	0,80	0,90	0,90
Vidro plano duplo	0,80	0,85	0,75	0,85	0,85

A fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativos é obtido através da tabela:

Tabela 6 – Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativos,  $F_{mv}$  – adaptado de Despacho-Lei n.º 15793-K/2013.

Orientação do vidro	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
$F_{mv}$	0	0,4	0,6	0,7	0,6	0,9

No caso do fator solar global de um vão envidraçado com as proteções solares, permanentes ou móveis, é calculado da seguinte forma:

$$\diamond \quad g_t = g_{\perp, vi} \times \prod_i \frac{g_{tvc}}{0,85} \quad (3.38)$$

$$\diamond \quad g_t = g_{\perp, vi} \times \prod_i \frac{g_{tvc}}{0,85} \quad (3.39)$$

em que os parâmetros significam o seguinte:

$g_{Tvc}$  - fator solar do vão envidraçado com o vidro corrente e um dispositivo de proteção solar permanente, ou móvel totalmente ativado

$g_{\perp, vi}$  – fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro consoante os detalhes fornecidos pelo fabricante (Anexo B.5).

No Anexo B.6, encontram-se os valores do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivo de proteção solar, permanente ou móvel, totalmente ativado ( $g_{Tvc}$ ). No Anexo B.5, também é possível verificar a tabela que contém os coeficientes de absorção da radiação solar para cada tipo de dispositivo de sombreamento consoante a sua cor associada.

### 3.3.2.5 Necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento

O cálculo das necessidades úteis para aquecimento é idêntico ao cálculo do RCCTE, apesar de existirem detalhes mais específicos. Para uma melhor percepção, dividiu-se o método por etapas.

A transferência de calor por transmissão ( $Q_{tr,i}$ ) através da envolvente ocorre sempre que se verifica uma variação de temperatura entre o meio exterior e interior. Para efeitos regulamentares essa é calculada da seguinte forma:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times GD_{aquec} \times H_{tr,i} \quad (3.40)$$

onde:

$GD_{aquec}$  – número de graus-dias na estação de aquecimento para cada região NUTS III (°C.dia)

$H_{tr,i}$  – coeficiente global de transferência de calor por transmissão no inverno (W/°C)

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão é o somatório de todos os coeficientes que envolvam o edifício, isto é, envidraçados, cobertura, pavimentos, pontes térmicas, paredes, formando:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad (3.41)$$

em que:

$H_{ext}$  – coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente que estão em contato com o meio exterior (W/°C);

$H_{enu}$  – coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente que estão em contato com espaços não-úteis;

$H_{adj}$  – coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente que estão em contato com edifícios adjacentes (W/°C);

$H_{ecs}$  – coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente que estão em contato com o solo (W/°C).

Especifica-se de seguida a forma como são calculados os coeficientes de transferência de calor:

$$H_{ext} = \sum i [ U_i \times A_i ] + \sum j [ \psi_j \times B_j ] \quad (3.42)$$

$U_i$  – coeficiente de transmissão térmica do elemento  $i$  da envolvente (W/m<sup>2</sup>.°C);

$A_i$  – área do elemento  $i$  da envolvente, medida pelo interior do edifício (m<sup>2</sup>);

$\Psi_j$  – coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica (W/m.°C);

$B_j$  – desenvolvimento linear da ponte térmica linear  $j$  (m)

A metodologia para calcular o coeficiente  $U$  é igual à preconizada no RCCTE, o que se remete para o subcapítulo 3.3.1.3.

Os valores que  $\Psi_i$  pode tomar encontram-se no Anexo B.3.

O coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente que estão em contato com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes é obtido através de:

$$H_{enu,adj} = b_{tr} \times (\sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\psi_i \times B_j]) \quad (3.43)$$

onde que:

$b_{tr}$  – coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não-útil ou de um edifício adjacente.

Este coeficiente é obtido através da razão entre a diferença de temperatura entre um espaço interior e um espaço não-útil e a diferença de temperatura entre o meio exterior e o meio interior. Devido a questões de desconhecimento dos respetivos valores médios da temperatura nos vários espaços, o  $b_{tr}$  é aproximado aos valores da Tabela 22 do REH, ver Anexo B.4.

Para espaços não úteis com  $b_{tr} \leq 0,7$ , as pontes térmicas lineares não são contabilizadas em paredes divisórias que incluam paredes, coberturas, pavimentos em contato com esses espaços não-úteis.

Por fim, para obter o valor de  $H_{ecs}$  tem-se:

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bfi} \times A_i] + \sum_j [z_j \times P_j \times U_{bwj}] \quad (3.44)$$

em que:

$U_{bfi}$  – coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ];

$z_j$  – profundidade média enterrada da parede em contato com o solo  $j$  (m);

$P_j$  – desenvolvimento total da parede em contato com o solo  $j$  (m)

$U_{bwj}$  – coeficiente de transmissão térmica da parede em contato [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ];

A partir da Tabela 03 a 05 do Despacho n.º 15793-K/2013 é possível estimar o coeficiente de transmissão térmica dos pavimentos enterrados. Este fator depende da resistência térmica das camadas do pavimento ( $R_f$ ), exceto as resistências térmicas supercificiais, em função da profundidade e largura do isolamento ( $D$ ).

$B'$  é calculado da seguinte forma:

$$B' = \frac{Ap}{0,5 \times P} \quad (3.45)$$

onde:

$B'$  – dimensão característica do pavimento

$P$  – perímetro, que é caracterizado pelo desenvolvimento total da parede que separa o espaço que se encontra aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo medido pelo o interior (m).

Transferência de calor por ventilação, designado por  $Q_{ve,i}$  tem como significado físico estimar as perdas de calor por ventilação na estação de Inverno. É calculado através de:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD_{aquec} \times H_{ve,i} \quad (3.46)$$

em que

$$H_{ve,i} = 0,34 \times R_{ph,i} \times A_p \times P_d \quad (3.47)$$

onde apresentam o significado:

$R_{ph,i}$  – taxa nominal de renovação do ar interior no inverno ( $h^{-1}$ );

$H_{ve,i}$  – coeficiente global de transferência de calor por ventilação no inverno ( $h^{-1}$ )

Ganhos térmicos úteis – resultam dos ganhos solares que são obtidos através dos vãos envidraçados, equipamentos, ocupantes, iluminação. Resultam da multiplicação do fator de utilização dos ganhos térmicos no inverno ( $\eta$ ) e dos ganhos térmicos brutos no inverno ( $Q_{g,i}$ ). Logo:

$$Q_{gu,i} = \eta \times Q_{g,i} \quad (3.48)$$

onde  $\eta$  varia entre 0 e 1 e é estimado numericamente por:

$$\begin{aligned} \diamond \quad \eta &= \frac{1-y^a}{1-y^{a+1}} \text{ se } y \neq 1 \text{ e } y > 0 \\ \diamond \quad \eta &= \frac{a}{a+1} \text{ se } y = 1 \\ \diamond \quad \eta &= \frac{1}{y} \text{ se } y < 0 \end{aligned} \quad (3.49)$$

o valor  $a$  pode assumir os seguintes valores em função da inércia térmica da fração ou edifício:

$a = 1,8$  – inércia fraca

$a = 2,6$  – inércia média

$a = 4,2$  – inércia forte

O parâmetro  $\gamma$  é calculado por:

$$\gamma = \frac{\text{ganhos térmicos brutos}}{\text{Nec.brutas de aquecimento}} = \frac{Q_g}{Q_{tr} + Q_{ve}} \quad (3.50)$$

onde:

$Q_g$  – ganhos térmicos totais brutos na estação de aquecimento (kWh);

$Q_{tr}$  – transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento (kWh);

$Q_{ve}$  – transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento (kWh);

Os ganhos térmicos brutos  $Q_g$  resultam de:

$$Q_g = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad (3.51)$$

em que  $Q_{int,i}$  representa os ganhos térmicos internos que resultam da dissipação de calor devida aos equipamentos, iluminação e ocupantes da habitação e  $Q_{sol,i}$  advém dos ganhos solares através dos vãos envidraçados.

$Q_{int,i}$  é da mesma forma que no RCCTE:

$$Q_{int,i} = q_{int} \times M \times A_p \times 0,72 \quad (3.52)$$

em que:

$q_{int}$  – ganhos térmicos internos médios por unidade de área ( $W/m^2$ )

$M$  – duração da estação média da estação de aquecimento (meses)

Quanto aos ganhos solares dos vãos envidraçados, a sua expressão matemática difere um pouco face ao RCCTE e resulta em:

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \times \sum_j [X_j \times \sum_n F_{s,inj} \times A_{s,inj}] \times M \quad (3.53)$$

em que:

$G_{sul}$  – valor médio mensal da irradiação solar incidente numa superfície vertical orientada a Sul durante a estação de Inverno ( $kWh/m^2.mês$ ) (Tabela 05 do despacho n.º 15793-F/2013)

$X_j$  – fator de orientação para as diferentes orientações da fachada (Tabela 01 do despacho n.º 15793-I/2013)

$A_{s,inj}$  – área efetiva coletora de radiação solar da superfície  $n$  que tem orientação  $j$  ( $m^2$ )

$F_{s,inj}$  – fator de obstrução do vão envidraçado a cada uma das superfícies com a respetiva orientação  $j$

Para cada orientação  $X_j$  é atribuído um valor segundo a exposição solar:

Tabela 7 – Fatores de orientação para as respetivas exposições solares

Orientação j	N	NE/NW	S	SE/SW	E/WQ	H
$X_j$	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

A área efetiva colectora de radiação solar é calculada através de:

$$A_{s, inj} = A_w \times F_g \times g_i \quad (3.54)$$

$A_w$  – área total do vão envidraçado incluindo vidro e caixilharia ( $m^2$ );

$F_g$  – fração envidraçada para diferentes tipos de caixilharia;

$g_i$  – fator solar do vão envidraçado no inverno;

$F_g$  traduz a diminuição da radiação solar transmitida pelo facto de existir caixilharia, obtida pela razão entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado.

Tabela 8 – Fração envidraçada – adaptada do Despacho-Lei n.º 15793-K/2013.

Caixilharia	Fração envidraçada – $F_g$	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou Aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

Em relação ao fator de obstrução, esse é calculado como na equação (3.16) do subcapítulo 3.3.1.7. As tabelas referentes aos fatores para obter o fator de obstrução encontram-se no Anexo A.3, A.4, A.5, A.6, A.7.

Contudo, as necessidades nominais de energia útil para aquecimento não podem ultrapassar o valor máximo das necessidades anuais de energia útil para aquecimento ( $N_i$ ), logo:

$$N_{ic} \leq N_i \quad (3.55)$$

onde  $N_{ic}$  se calcula da mesma forma como no antigo regulamento, verificar equação 3.5.

$N_i$  é calculado por:

$$N_i = \frac{(Q_{tr,iref} + Q_{ve,iref} - Q_{gu,iref})}{A_p} \quad (3.56)$$

em que:

$Q_{tr,iref}$  – transferência de calor por transmissão da envolvente de referência no inverno (kWh);

$Q_{ve,iref}$  – transferência de calor por ventilação de referência no inverno (kWh);

$Q_{gu,iref}$  – ganhos de calor úteis de referência no inverno (kWh).

Estes parâmetros de dependem ainda de outros fatores de referência:

$\Psi_{ref}$  - Coeficiente de transmissão térmica de referência, obtidos da tabela I.02 da Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro;

$U_{ref}$  – coeficiente de transmissão térmica superficial de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, encontra-se na Tabela I.01 da Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro;

Uma áreas de vãos até 20% da área interior útil de pavimento do edifício, devendo a eventual área excedente ser adicionada à área de envolvente opaca exterior, sendo que para ambos os tipos de elementos devem ser usados os respetivos  $U_{ref}$  referenciados.

### 3.3.2.6 Necessidades nominais úteis de energia para arrefecimento

O método de cálculo das necessidades nominais úteis de energia para arrefecimento realiza-se da seguinte forma:

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) \times Q_{g,v}}{\text{Área interior útil de pavimento}} \quad (3.57)$$

onde:

$\eta_v$  – fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de referência;

$Q_{g,v}$  – ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento (kWh);



$\eta_v$  é calculado como foi demonstrado na equação (3.49) na estação de aquecimento, encontrando-se em função dos parâmetros de transferência de calor durante a estação de arrefecimento, que engloba a transmissão ( $Q_{tr,v}$ ), renovação do ar ( $Q_{ve,v}$ ) e os ganhos térmicos na estação de arrefecimento ( $Q_{g,v}$ ).

A transferência de calor por transmissão calcula-se da seguinte maneira:

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times \frac{Lv}{1000} \quad (3.58)$$

onde:

$H_{tr,v}$  – coeficiente global de transferência de calor por transmissão no verão (W/°C);

$\theta_{v,ref}$  – temperatura de referência que serve para o cálculo das necessidades de energia no verão (°C);

$\theta_{v,ext}$  – temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento (°C);

$L_v$  – duração da estação de arrefecimento, sendo igual a 2928 horas.

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão é obtido da seguinte forma:

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} \quad (3.59)$$

Significado já explicado na equação 3.41 adequado à situação de verão.

O processo de transferência de calor por renovação do ar é calculado através de:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times \frac{Lv}{1000} \quad (3.60)$$

onde os parâmetros foram explicados na equação 3.58, exceto  $H_{ve,v}$ , que é o coeficiente global de transferência de calor por ventilação no verão (W/°C) e é calculado como já foi demonstrado na equação 3.47, alterando apenas os parâmetros do verão.

Por fim, os ganhos térmicos brutos são obtidos por:

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad (3.61)$$

onde:

$Q_{int,v}$  – ganhos térmicos referentes aos ganhos de calor internos (kWh);

$Q_{sol,v}$  - ganhos térmicos solares através da envolvente exterior opaca e envidraçada (kWh);

Onde  $Q_{int,v}$  é aproximado a:

$$Q_{int,v} = q_{int} \times A_p \times \frac{Lv}{1000} \quad (3.62)$$

Os ganhos solares térmicos pela envolvente envidraçada e opaca são calculados, respetivamente, pelas seguintes expressões:

$$Q_{sol,venvidraçado} = \sum_j [ G_{solj} \times \sum_n F_{s,vnj} \times A_{s,vnj} ] \quad (3.63)$$

$$Q_{sol,vopaca} = \sum_j [ G_{solj} \times \sum_n A_{s,vnj} ] \quad (3.64)$$

Em que:

$G_{solj}$  – energia solar média incidente numa superfície com orientação  $j$  durante o verão ( $\text{kWh/m}^2$  – Anexo B.2);

$A_{s,vnj}$  – área efetiva coletora de radiação solar da superfície  $n$  que tem orientação  $j$  ( $\text{m}^2$ );

$F_{s,vnj}$  – fator de obstrução da superfície com a respetiva orientação  $j$

Em relação ao fator de obstrução, no inverno é obtido como foi demonstrado na equação 3.16, apenas que na estação de verão é desprezado o efeito de sombreamento do horizonte ( $F_h$ ), assumindo um valor igual a 1. Os restantes parâmetros –  $F_o$  e  $F_f$  encontram-se no Anexo B.9 e B.11.

O cálculo da área efetiva, aplicável a espaços úteis e não-úteis dá-se:

$$A_{s,vnj} = A_w \times F_g \times g_v \quad (3.65)$$

onde:

$A_w$  – área total do vão envidraçado incluindo vidro e caixilho ( $\text{m}^2$ );

$F_g$  – fração envidraçada para diferentes tipos de caixilharia;

$g_v$  – fator solar do vão envidraçado no inverno.

$F_g$  é retirado da tabela 20 do despacho n.º 15793-K/2013 do regulamento, onde já foi demonstrado no subcapítulo 3.3.2.5 na Tabela 8.

A área efetiva coletora de radiação solar de um elemento  $n$  da envolvente opaca exterior é calculada através da seguinte equação:

$$A_{s,vnj} = \alpha \times U \times A_{op} \times R_{se} \quad (3.66)$$

com:

$\alpha$  - coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca;

$A_{op}$  – área do elemento da envolvente opaca exterior ( $\text{m}^2$ );

$R_{se}$  – resistência térmica superficial exterior igual a  $0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Assim como nas necessidades de aquecimento, as de arrefecimento também não podem ultrapassar o valor máximo admissível ( $N_v$ ) logo:

$$N_{vc} \leq N_v \quad (3.67)$$

O valor máximo é obtido através de valores máximos de referência e calculado da seguinte forma:

$$N_v = \frac{(1-n_{vref}) \times Q_{g,vref}}{A_p} \quad (3.68)$$

em que:

$Q_{g,vref}$  – ganhos térmicos de referência no verão (kWh);

$\eta_{v,ref}$  – fator de utilização dos ganhos de referência;

onde é calculado por:

$$\eta_{v,ref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \times \ln \Delta \theta & \text{se } \Delta \theta > 1 \\ 0,45 & \text{se } 0 < \Delta \theta < 1 \\ 0,3 & \text{se } \Delta \theta \leq 0 \end{cases} \quad (3.69)$$

$$\Delta \theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} \quad (3.70)$$

em que:

$\theta_{ref,v}$  – temperatura interior de referência no verão, assumindo 25°C.

$\theta_{ext,v}$  – temperatura exterior média no verão, de acordo com o local.

Finalmente,  $G_{g,vref}$  resulta da seguinte equação:

$$Q_{g,vref} = [q_{int} \times \frac{L_v}{1000} + g_{v,ref} \times \left(\frac{A_w}{A_p}\right)_{ref} \times I_{solref}] \quad (3.71)$$

onde:

$q_{int}$  – ganhos internos médios, contabilizados em 4W/m<sup>2</sup>;

$I_{solref}$  – radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste;

$L_v$  – duração da estação de arrefecimento – 2928 horas;

$(A_w/A_p)$  – razão entre a área de vãos e a área interior útil de pavimento, que se assume igual a 20%;

$g_{vref}$  – fator solar de referência para o verão, contabilizado em 0,43.

(Portaria n.º349-B/2013)

### 3.3.2.7 Necessidades de energia útil para a preparação de águas quentes sanitaria - $Q_a$

Assim como explicitado no RCCTE, nas habitações, considera-se um aumento de temperatura de 35°C das águas quentes sanitárias para fins de banhos, lavagem de roupa, louça e outros. Os equipamentos mais comuns para a produção de água quente são caldeiras, termoacumuladores elétricos e a gás, esquentadores.

A energia útil é estimada por:

$$Q_a = \frac{Maqs \times 4187 \times \Delta T \times n_d}{3600000} \quad (3.72)$$

em que:

$M_{AQS}$  – consumo médio diário de referência de AQS (40l/ocupante)

$\Delta T$  – variação da temperatura para a preparação de AQS, e que assume o valor de 35°C;

$n_d$  – número anual de dias para consumo de AQS.

O consumo médio diário é calculado como a expressão indica:

$$Maqs = 40l \times n \times f_{eh} \quad (3.73)$$

em que:

$n$  – número convencional de ocupantes;

$f_{eh}$  – fator de eficiência hídrica;

No despacho n.º 15793-I/2013 é referido que o número de ocupantes de cada fração autónoma é definido em função da tipologia da fração sendo que se deve considerar 2 ocupantes no caso da tipologia ser um T0, e  $n+1$  ocupantes nas tipologias do tipo Tn com  $n > 0$ .

Em relação ao fator de eficiência hídrica, é aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo sector das instalações prediais. Para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior,  $f_{eh} = 0,90$ , sendo que nos restantes casos,  $f_{eh} = 1$ .

“O despacho n.º 15793-H/2013 procede à publicação das regras de quantificação e contabilização de sistemas para aproveitamento de fontes renováveis, de acordo com o tipo de sistema”,

(Despacho-Lei n.º 15793-H/2013), que podem ser sistemas solares térmicos, sistemas solares fotovoltaicos, biomassa, sistemas eólicos, geotermia, mini-hídrica, aerotérmica e geotérmica.

### 3.3.2.8 Necessidades nominais globais de energia primária – Ntc

As necessidades nominais globais de energia primária no novo regulamento são calculadas por:

$$Ntc = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \times N_{ic}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \times \delta \times N_{vc}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \times \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \times F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \times F_{pu,p} \quad (3.74)$$

em que:

$N_{ic}$  – necessidades nominais de energia útil para aquecimento (kWh/m<sup>2</sup>.ano)

$f_{i,k}$  – parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k;

$N_{vc}$  – necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (kWh/m<sup>2</sup>.ano)

$F_{v,k}$  – parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k;

$Q_a$  – necessidades de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (kWh/m<sup>2</sup>.ano);

$F_{a,k}$  – parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k;

$\eta_k$  – eficiência do sistema k, que toma o valor 1 em caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energias renováveis, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;

j – todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;

p – fontes de origem renovável

$E_{ren,p}$  – energia produzida a partir de fontes de origem renovável p, [kWh/ano], incluindo apenas energia consumida;

$W_m$  – energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, [kWh/ano]

$F_{pu,j}$  e  $F_{pu,p}$  – fatores de conversão entre a energia útil para energia primária (kWh<sub>EP</sub>/kWh);

$\delta$  - igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

Comparativamente ao antigo regulamento, o REH apresenta diferentes fatores de conversão entre a energia final e a energia primária para obter as necessidades de energia primária de edifícios residenciais. Para a eletricidade, sendo renovável a origem ou não, o valor atribuído é  $F_{pu} = 2,5 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ , e para os combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis é  $F_{pu} = 1 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ .

O valor de  $N_{tc}$  não pode ser superior ao valor de  $N_t$  sendo este último obtido através de:

$$N_t = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \times N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \times N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \times \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_{ref,k}} \right) \times F_{pu,j} \quad (3.75)$$

em que:

$N_i$  – valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para aquecimento ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ );

$N_v$  – valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ );

$Q_a$  – necessidades de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias pelo sistema  $k$  ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ ).

Os restantes parâmetros encontram-se declarados no ponto 3.2.3.10.

Para obter a classe energética, o método é o mesmo, à exceção das condições que definem cada uma das classes, portanto:

$$R = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (3.76)$$

### 3.3.3 Norma 13790 – 5R1C

A Norma 13790 fornece métodos de cálculo para avaliar a utilização anual de energia para aquecimento e arrefecimento de uma residência ou de um edifício de serviços.

É possível calcular através dos métodos fornecidos pela norma o seguinte:

→ Transferência de calor por transmissão e a ventilação da zona de edifício quando aquecido ou arrefecido até à temperatura interna constante;

→ A contribuição de ganhos de calor internos e solares para o equilíbrio de calor no edifício;

→ As necessidades de energia útil de aquecimento e arrefecimento.

A norma inclui três métodos diferentes:

- método quase estacionário que preenche todo o mês ;
- método de cálculo de hora em hora;
- cálculo detalhado, método de simulação dinâmica.

A ISO 13790 também adquire um método horário simples, utilizando determinados dados, nomeadamente temperaturas médias, modos de ventilação ou horários de funcionamento de dispositivos de protecção solar móvel, consoante a estação em causa.

Este método foi adicionalmente criado para facilitar o método de cálculo ao utilizar uma escala de base em horas.

A escolha do método a utilizar depende da aplicação e causa para qual o cálculo está a ser feito, e do tipo de edifício em estudo.

Os procedimentos estão indicados para o uso de métodos de simulação mais detalhados para garantir a compatibilidade e coerência entre a aplicação e os resultados dos diferentes tipos de método. A ISO 13790 fornece, por exemplo, regras comuns para as condições de contorno e dados de entrada física, independentemente do método de cálculo escolhido.

Foi desenvolvida para edifícios que são, ou estão a ser simulados para aquecimento e/ou arrefecimento para o conforto térmico das pessoas, mas pode ser utilizados para outros tipos de construção ou outros tipos de utilização (por exemplo, industriais, agrícolas), apenas tem que se ter em conta os dados de entrada (EN ISO 13790, 2008).

Para este método são necessários dados de entrada como foi referido (Inputs) e dados de saída (Outputs), portanto tem-se que:

### **Inputs**

- Propriedades de transmissão e ventilação
- Ganhos internos de calor
- Propriedades solares
- Sistemas utilizados
- Necessidades de conforto (temperaturas médias e taxas e renovação do ar)
- Dados relacionados com aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação

## Outputs

- Energia anualmente necessária para aquecimento e arrefecimento
- Energia anualmente utilizada para aquecimento e arrefecimento
- Duração das estações de aquecimento e arrefecimento
- Energia extra/auxiliar usada para aquecimento, arrefecimento e ventilação

## Modelo 5R1C

Variáveis principais:

- Coeficientes de transmissão térmica, pontes térmicas e elementos opacos;
- Características de ventilação,  $H_{ve}$  e  $\theta_{sup}$ ;
- Condutância  $H_{tr,is}$ ;
- Capacitância de calor interno  $C_m$  (J/K);

A condutância  $H_{tr,is}$  em (W/K) resulta de:

$$H_{tr,is} = h_{is} \times A_{tot} \quad (3.77)$$

onde:

$A_{tot}$  – área total de todas as superfícies dos compartimentos ( $m^2$ );

$A_f$  – área útil do pavimento ( $m^2$ );

$h_{is}$  – coeficiente de transferência de calor entre os nós  $i$  e  $s$  com valor constante de  $h_{is} = 3,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ;

$A_{at}$  – razão entre as áreas de superfície interna e área útil de pavimento.



É analisado o calor e o arrefecimento necessário durante 4 semanas. O início e o fim da altura é determinada com um limiar de  $1 \text{ W/m}^2$  por área útil (EN ISO 13790, 2008).

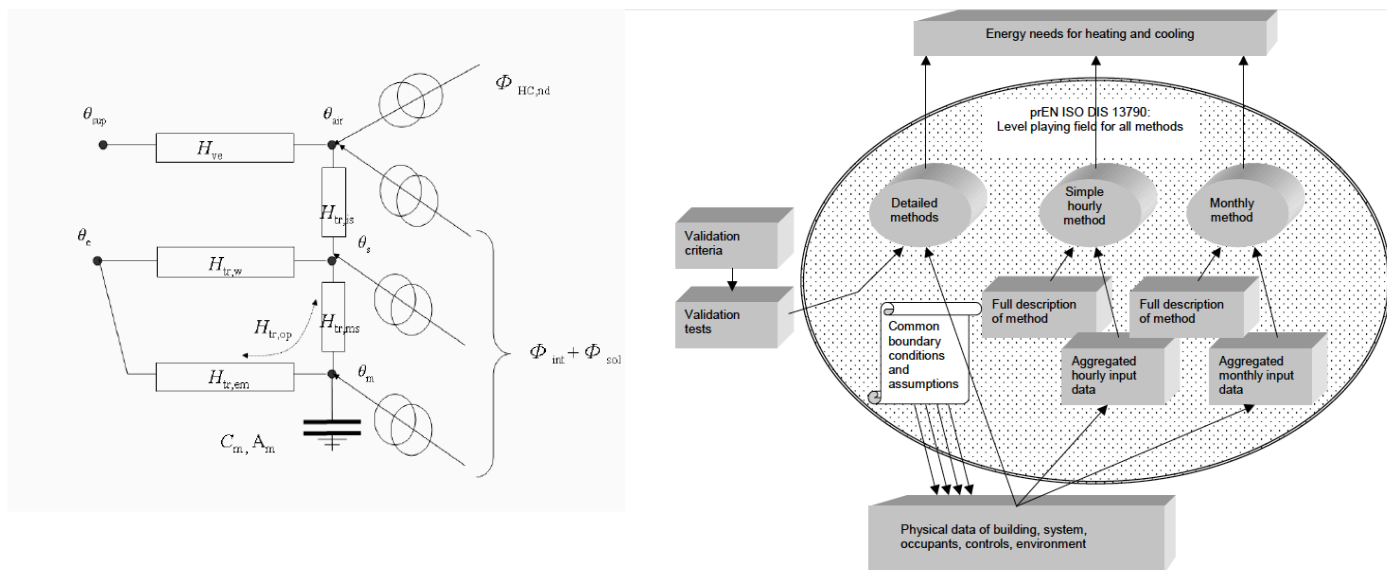


Fig. 19 – Cinco resistências e uma capacitância – modelo 5R1C (à esquerda) e Diferentes métodos de cálculo para energia útil de aquecimento e arrefecimento (à direita). Fonte: EN ISO 13790, 2008.

## 4. Caso de estudo

### 4.1 Apresentação do caso

Aplicou-se o RCCTE e o REH a um caso de estudo que consiste num apartamento de tipologia T3 localizado num edifício de habitação em Lisboa.

Este edifício encontra-se em contacto com edifícios adjacentes de construção semelhante, apresenta a fachada principal orientada a Norte e a posterior voltada a Sul.

Este edifício é constituído por quatro pisos, uma garagem colectiva e uma cobertura em terraço não acessível aos moradores. Cada piso tem três apartamentos, um T3 e dois T2 (mas com disposição de divisões diferentes), e dois apartamentos de tipologia T3 no piso 0, e desta vez, iguais a nível de disposição, portanto no total o edifício é constituído por dez fracções autónomas distintas.

O edifício é estruturado em betão armado, constituído por pilares e lajes fungiformes maciças com vigas de bordadura (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

A área total de pavimento do apartamento é de 96,84 m<sup>2</sup> sendo as áreas respectivas de cada divisão as seguintes:

Tabela 9 - Respetivas áreas das divisões do caso de estudo

Divisões	Áreas (m <sup>2</sup> )
Quarto – Sul	14,74
Sala – Sul	22,61
Cozinha – Sul	13,45
Casa de banho 1	3,56
Casa de banho 2	2,48
Hall 1	7,37
Hall	5,06
Quarto – Norte	14,19
Quarto – Norte	13,38

Os locais não aquecidos existentes no caso de estudo, são a zona de circulação comum do edifício, isto é, a caixa de escadas e o edifício adjacente. Os elementos que separam a fracção autónoma destes locais não aquecidos são elementos da envolvente interior, nomeadamente as paredes e a porta. A envolvente exterior é constituída por vãos envidraçados, paredes e cobertura. Tanto na envolvente

exterior como interior existem pilares e vigas que constituem pontes térmicas planas. O pavimento não apresenta requisitos térmicos, visto fazer fronteira com outra fração autónoma com os mesmos requisitos térmicos (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

### Envolvente Exterior

As paredes exteriores são constituídas por panos duplos de alvenaria de tijolo furado (11+6+15) cm, com caixa de ar não ventilada, parcialmente preenchida com 3cm de poliestireno extrudido e rebocadas e pintadas pelo interior e exterior de cor clara, totalizando assim 35 cm de espessura (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

### Pontes térmicas planas da envolvente exterior

Considera-se Pt.1(Pilares) e Pt.2 (Vigas), estes elementos apresentam 25 cm de betão e são revestidos com 2cm de poliestireno extrudido e uma forrados de blocos de betão de agregados leves de argila expandida com reboco em ambas as faces, perfazendo a mesma espessura das paredes exteriores (35cm) (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

### Vãos envidraçados

Este elemento é formado por vidro duplo incolor de 6mm e 5mm, com 6 mm de lâmina de ar, sendo a caixilharia metálica com corte térmico sem quadrícula. Os vãos são protegidos por persianas de cor média – dispositivos externos de proteção solar e oclusão noturna que são opacos e têm baixa permeabilidade ao ar. Dado que é uma fração autónoma com ocupação noturna, o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado é  $U_{env} = 2,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (ITE 50 / LNEC) (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

### Envolvente interior

Os elementos interiores em zona corrente são constituídos por paredes interiores (PI.1 – caixa de escadas e PI.2 – edifício adjacente), estes elementos separaram a fração autónoma em causa dos locais não aquecidos existentes, a sua constituição tem base em alvenaria dupla de tijolo furado (11 + 3 + 11) cm rebocada em ambos os lados fazendo uma espessura total de 28 cm (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

### Pontes térmicas planas da envolvente interior

Designa-se estes elementos por PTI.1 (caixa de escadas) e PTI.2 (edifício adjacente), que abrangem os pilares e as vigas de 20cm de betão da envolvente interior, estes elementos são revestidos com uma forra térmica de blocos de betão agregados leves de argila expandida, com reboco em ambas as faces, perfazendo uma espessura igual à das paredes interiores – 28 cm (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

### Cobertura exterior

A cobertura exterior (Cob.1), é constituída por uma laje de betão armado em 20 cm de espessura, isolada por placas de poliestireno extrudido de 5 cm de espessura, assentes numa camada de forma em betão de argila expandida, e protegidas por gravilha (cor média), totalizando uma espessura de 37,5cm. O seu coeficiente de transmissão térmica é sazonal, isto é, no verão tem-se,  $U_{\text{Verão}}=0,56\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$  e no Inverno  $U_{\text{Inverno}}=0,58$  (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

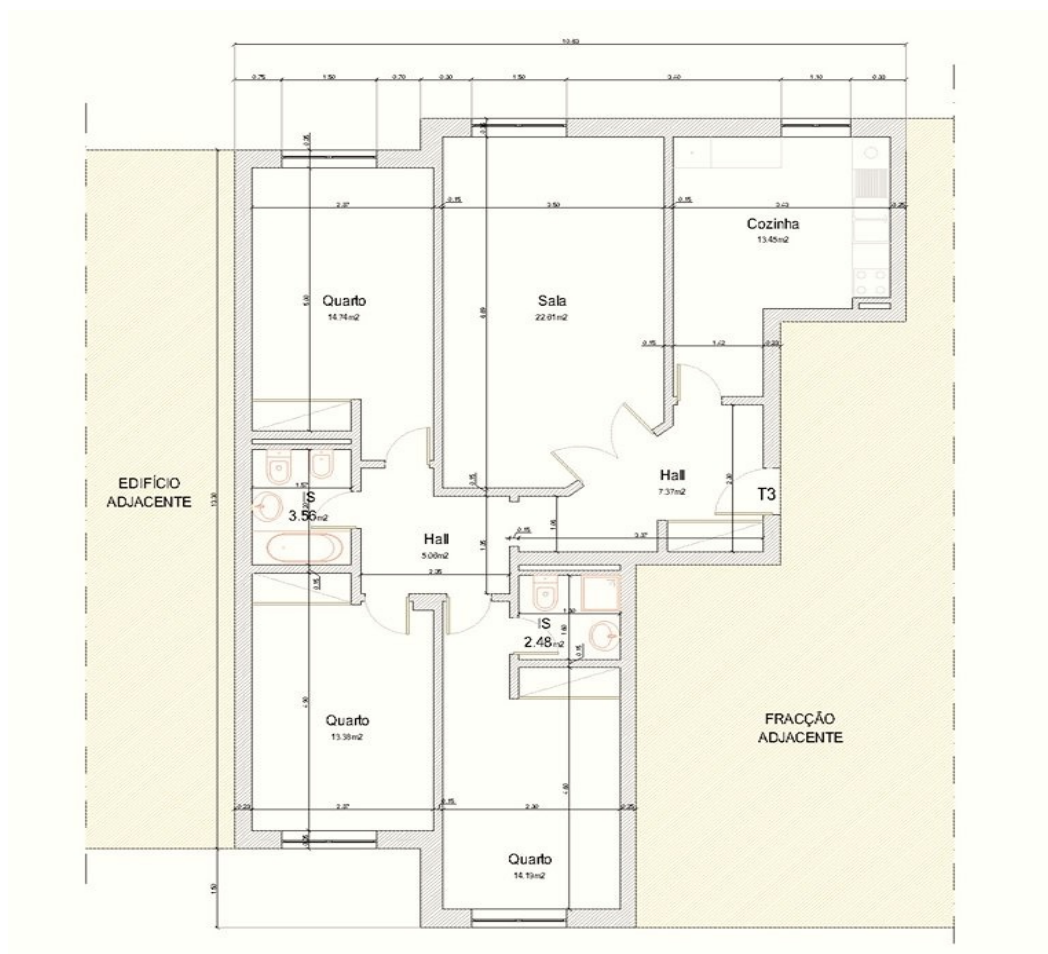


Fig. 20 – Planta do caso de estudo – T3

Para a análise de dados adiante, dividiram-se os regulamentos pelas respetivas cores:

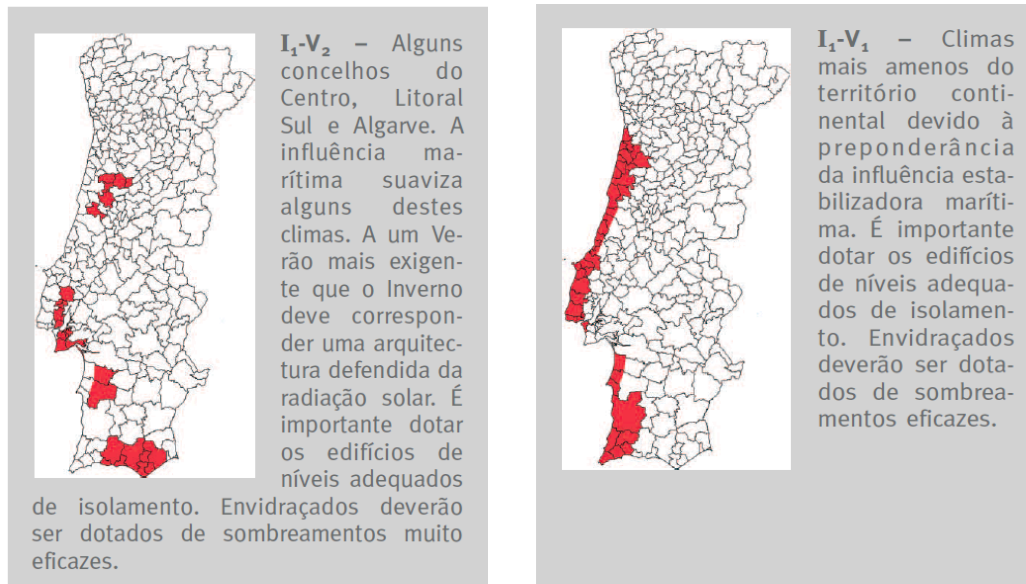
RCCTE	REH
-------	-----

Este caso de estudo localiza-se em Lisboa mas decidiu-se variar a sua localização, às cidades da Guarda, Lagos e Portalegre. A razão que fundamenta esta escolha deve-se ao facto de se localizarem em zonas climáticas distintas de verão e inverno.

Tabela 10 – Índices na estação de arrefecimento e aquecimento para cada regulamento

	RCCTE	REH
Lisboa	$I_1 V_2$	$I_1 V_2$
Guarda	$I_3 V_1$	$I_3 V_2$
Lagos	$I_1 V_1$	$I_1 V_3$
Portalegre	$I_2 V_3$	$I_1 V_3$

Segundo o RCCTE, esta imagem mostra as 4 zonas em estudo, e algumas soluções construtivas e arquitectónicas, nomeadamente o tipo de vãos envidraçados e o nível de isolamento térmico.



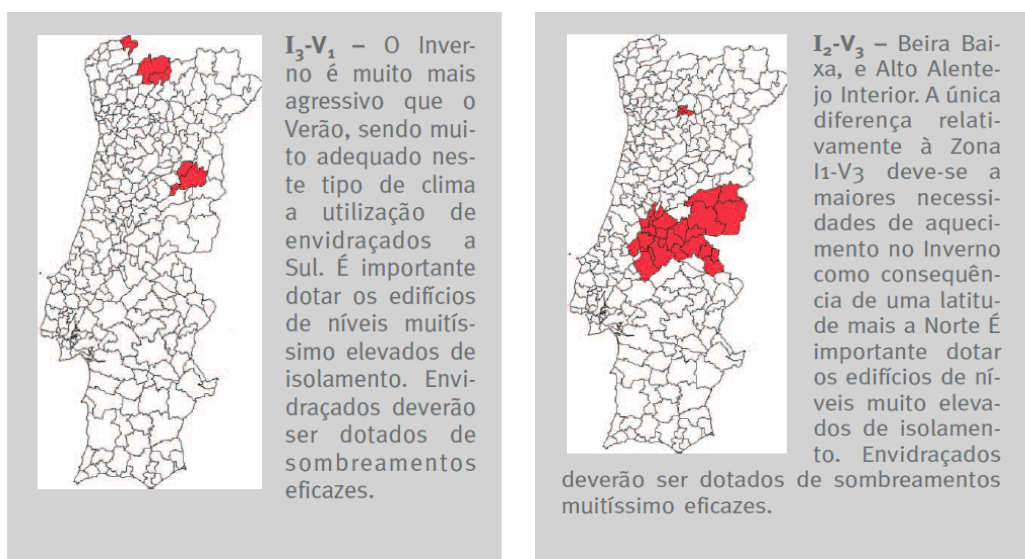


Fig. 21 – Mapa de Portugal Continental realçando as respetivas localizações que vão ser abordadas – Fonte: Gonçalves e Graça, 2006.

Assumiu-se que o apartamento em estudo se encontra num segundo andar, para entender quais as novas mudanças ocorridas.

Por fim, decidiu-se fazer variar o edifício em relação à sua exposição solar, isto é, o caso de estudo inicialmente tem como base a orientação Norte/Sul e irá ser feita uma comparação assumindo que se encontra a Este/Oeste.

## 5. Comparação global de valores com o RCCTE e o REH

Neste capítulo efectua-se uma comparação dos dados que resultam da aplicação dos dois regulamentos: RCCTE e REH. Nas tabelas que se seguem destacam-se a sombreado os parâmetros em que se verificaram diferenças.

### 5.1 Lisboa

#### 5.1.1 Dados Climáticos

Tabela 11 – Dados climáticos em Lisboa

Zona	RCCTE I <sub>1</sub> V <sub>2</sub>	REH I <sub>1</sub> V <sub>2</sub>
Duração estação de Aquecimento M (meses)	5,3	5,3
Temperatura média exterior Verão (°C)	23	21,7
Graus-dia (°C.dia)	1190	1071
Duração estação de Arrefecimento (horas)	2928	2928
G <sub>Sul</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .mês)	108	150

Da comparação dentre os regulamentos, no que diz respeito aos dados climáticos, distinguem-se os parâmetros graus-dia, a energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul na estação de aquecimento – G<sub>Sul</sub> e a temperatura média do ar exterior no período de verão.

#### 5.1.2 Dados referentes aos vãos envidraçados segundo a orientação e estação

O fator de obstrução no caso de inverno para a orientação Sul é 0,45 pois o regulamento afirma que “com o objetivo de contabilizar o efeito do sombreamento do contorno do vão e conforme imposição regulamentar, quando  $F_o \times F_f > 0,90$  adota-se  $F_o \times F_f = 0,90$ ”. Por esta razão tem-se para todos os envidraçados a Sul  $F_s = 0,45 \times 0,90 = 0,41$  (Rodrigues, Braga e Canha, 2009).

Tabela 12 – Dados referentes aos vãos envidraçados – orientação N/S

	RCCTE		REH	
$F_g$	0,7			
$F_w$	0,9			
$g_{\perp} = g_{\perp}'$	0,07			
$g_{\perp_v}$	0,75			
<b>Orientação</b>	Norte	Sul	Norte	Sul
X	0,27	1	0,27	1
<b>INVERNO</b>				
$g_{i\perp}$	0,63		0,75	
$F_{\text{obst}} - F_s$	1	0,41	1	0,41
$F_h$	1	0,45	1	0,45
$F_o$	1	1	1	1
$F_f$	1	1 ou 0,94	1	1 ou 0,94
<b>VERÃO</b>				
$g_{\perp_v}$	0,75		0,75	
$F_{w,v}$	0,8	0,75	0,8	0,75
$F_{\text{obst}} - F_s$	1	1 ou 0,93	1	1 ou 0,93
$F_h$	1	1	1	1
$F_o$	1	1	1	1
$F_f$	1	1 ou 0,93	1	1 ou 0,93
$g_{\perp} 70\%$	0,27			
$g_{tp}$	n.a.		0,60	0,56
$g_v$	n.a.		0,60	0,27
$F_{m,v}$	n.a.		0	0,6

No caso da estação de verão para a orientação Sul,  $F_f$  para os quatro envidraçados toma o valor 1, exceto para o envidraçado do quarto a Sul que é 0,93 (valor obtido da interpolação entre 0° e 30°).

A título comparativo, apresentam-se os resultados da aplicação da metodologia de cálculo ao caso de estudo, utilizando paralelamente ambos os métodos.



Coefficientes de transferência de calor em W/°C

Tabela 13 – Coeficientes de transferência de calor

	RCCTE	REH
<b>EXTERIOR</b>		
Paredes exteriores U.A	19,09	
PT. Lineares $\Psi.B$	27,26	39,91
Vãos envidraçados U.A	38,34	
Cobertura U.A	56,17	
<b>Total</b>	140,86	153,51
<b>INTERIOR</b>		
Paredes em contacto com espaços não-úteis	5,95	15,86
Paredes em contacto com edifícios adjacentes	21,73	
<b>Total</b>	27,68	37,60
<b>Ventilação</b>	verão	51,36
	inverno	34,24
<b>Coefficiente global de transferência de calor</b>	verão	220,73
	inverno	225,35

Ganhos na estação de aquecimento e arrefecimento em kWh/ano

Tabela 14– Comparação de ganhos na estação de Aquecimento (kWh/ano)

Estação de Aquecimento	RCCTE	REH
Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$	1131,84	1856,02
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$	1478,17	1478,17
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i}$	2565,57	3186,75
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	2606,60	3334,19
$\gamma$	0,37	0,58
$\eta$	0,98	0,96

Tabela 15– Comparação de ganhos na estação de Arrefecimento (kWh/ano)

Estação de Arrefecimento	RCCTE	REH
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	992,84	868,08
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	611,82	1178,81
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1134,19	1134,19
Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$	1604,67	2045,88
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	2738,86	3180,07
$\gamma$	2,46	1,49
$\eta$	0,40	0,62

Tabela 16– Perdas de calor no verão e inverno (kWh/ano)

Perdas no verão e inverno	RCCTE	REH
$Q_{tr,v}$ (kWh/ano)	665,18	1636,50
$Q_{tr,i}$ (kWh/ano)	4813,21	4912,12
$Q_{ve,v}$ (kWh/ano)	451,20	496,30
$Q_{ve,i}$ (kWh/ano)	2200,55	880,18

Tabela 17 – Valores nominais globais anuais de energia

	RCCTE	REH
Nic *	45,90	26,91
Ni *	58,02	39,60
Nvc *	16,97	13,27
Nv *	32	11,89
Nac *	38,96	24,55
Na *	48,85	-----
Ntc **	56,33	79,56
Nt **	86,23	128,67

\* (kWh/m<sup>2</sup>.ano) \*\* (kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.ano)

O caso de estudo da primeira abordagem localiza-se na cidade de Lisboa, podendo concluir-se que os valores das necessidades nominais anuais de energia útil são superiores no RCCTE aos obtidos pela aplicação do REH.

Necessidades nominais anuais de energia útil em kWh/m<sup>2</sup>.ano e necessidades nominais anuais globais de energia primária em kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano

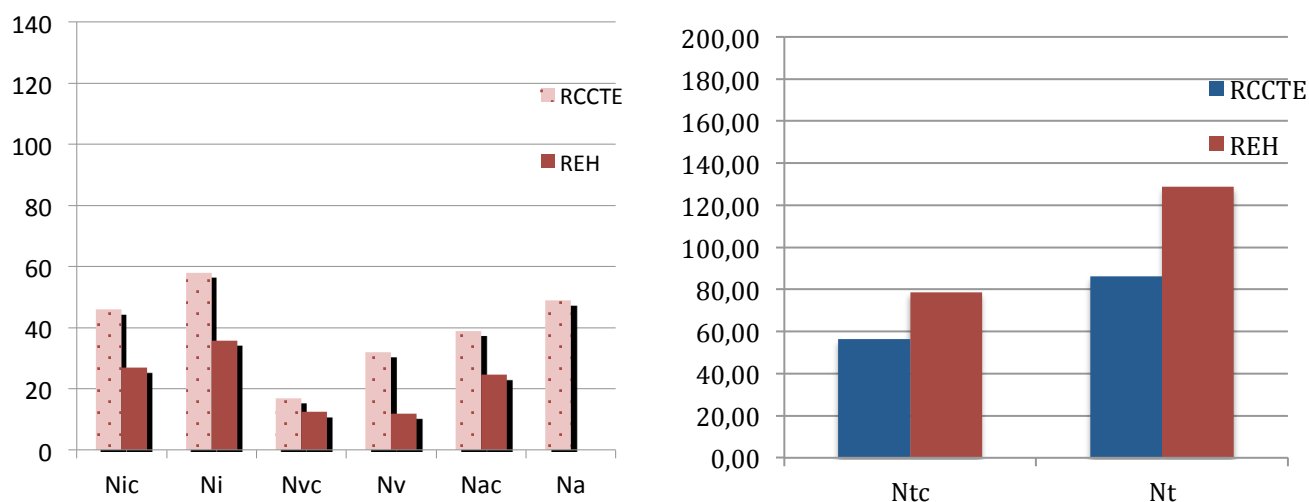


Fig. 22 - Comparação das necessidades globais anuais de energia útil (à esquerda) e comparação das necessidades globais anuais primárias em kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano (à direita)

Gráficos correspondentes às necessidades de aquecimento, arrefecimento e aquecimento de águas sanitárias em percentagem

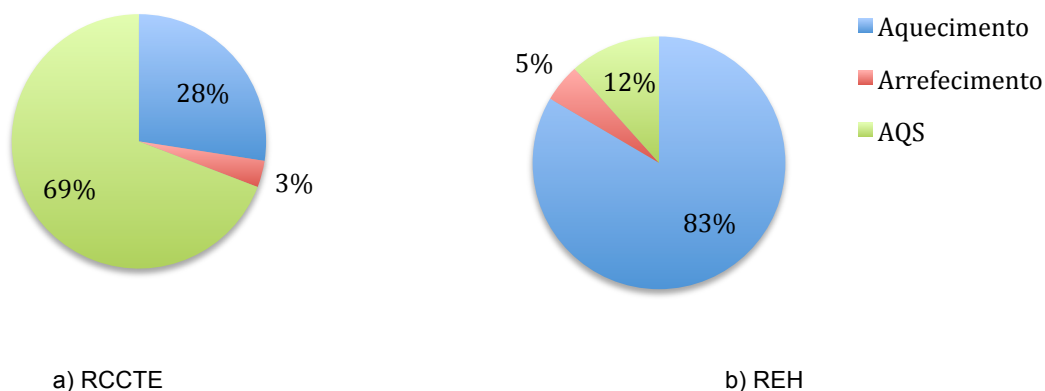


Fig. 23 – Percentagem de energia primária por tipo de uso sem fontes renováveis (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano)

Estes dois gráficos mostram a distribuição das necessidades de aquecimento, arrefecimento e aquecimento de águas quentes sanitárias em função das necessidades de energia primária. Como se verifica, no caso do RCCTE, do consumo de energia útil para aquecimento e arrefecimento apenas é considerado 10%, daí existir uma grande diferença face ao REH.

Gráfico referente à diferença de percentagens entre o RCCTE e o REH

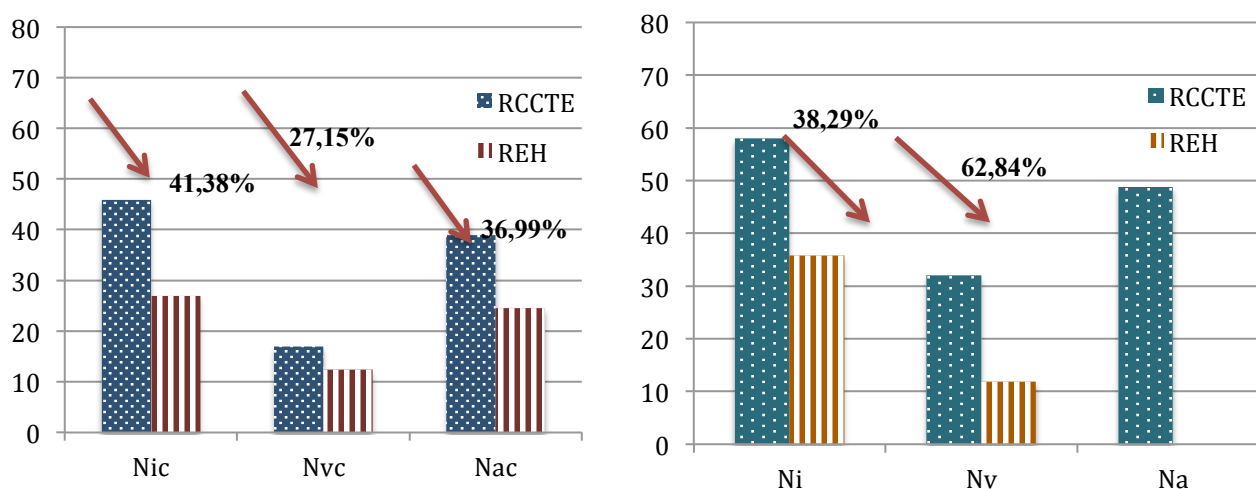


Fig. 24 - Diferença percentual para as necessidades anuais globais entre o RCCTE e REH (à esquerda) e para os valores máximos das necessidades nominais de energia no RCCTE e REH (à direita)

Neste gráfico encontra-se representada a diferença percentual que ocorre entre as necessidades de aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias do REH comparativamente ao RCCTE. Verifica-se que as necessidades de aquecimento são, no REH, inferiores em 41% face ao RCCTE, as necessidades de arrefecimento são 27% inferiores e, por fim, as necessidades de AQS 37% também inferiores.

No caso do valor máximo para as necessidades nominais de energia para aquecimento e arrefecimento, exclui-se o valor  $N_a$  aplicado no RCCTE, pois esse não existe no REH. Verifica-se também um decréscimo de 38% nas necessidades máximas de energia para aquecimento e 62% para o arrefecimento.

## 5.2 Guarda

Neste subcapítulo irá ser analisado o caso de estudo mas quando localizado em Guarda.

Tabela 18– Comparação dos dados climáticos entre os dois regulamento em Guarda (kWh/ano)

	RCCTE	REH
Zona	I <sub>3</sub> V <sub>1</sub>	I <sub>3</sub> V <sub>2</sub>
M aquecimento (meses)	8	7,5
Graus-dias (°C.dia)	2500	1971
Temperatura média Verão (°C)	21	21,7
G <sub>Sul</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	90	135

Face a Lisboa, Guarda apresenta uma zona climática diferente no índice da estação de arrefecimento e no RCCCE a duração da estação de aquecimento apresenta mais meio mês, os graus dias são superiores o que conduz a maiores necessidades de aquecimento em comparação com o REH. Por outro lado a temperatura média de Verão é superior no REH.

### Ganhos na estação de aquecimento e arrefecimento em kWh/ano

Tabela 19– Comparação de ganhos na estação de Aquecimento (kWh/ano)

Estação de Aquecimento	RCCTE	REH
Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$	1423,70	2363,81
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$	2231,19	2091,74
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i}$	3644,41	4400,75
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	3654,89	4455,55
$\gamma$	0,25	0,39
$\eta$	1	0,99

Todos os parâmetros na tabela 19 e 20 são superiores ao aplicar o novo regulamento, exceto nos ganhos internos brutos, pois a duração da estação de aquecimento no RCCTE é de 8 meses, enquanto no REH é de 7,5 meses.

Tabela 20– Comparação de ganhos na estação de Arrefecimento (kWh/ano)

Estação de Arrefecimento	RCCTE	REH
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	893,33	839,72
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	611,82	1085,17
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1134,19	1134,19
Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$	1505,15	1924,89
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	2639,34	3059,08
$\gamma$	0,79	1,43
$\eta$	0,89	0,64

Tabela 21– Valores de transferência de calor no verão e inverno (kWh/ano)

Perdas no verão e inverno	RCCTE	REH
$Q_{tr,v}$ (kWh/ano)	1995,72	1636,50
$Q_{tr,i}$ (kWh/ano)	10111,8	8824,39
$Q_{ve,v}$ (kWh/ano)	1353,61	496,30
$Q_{ve,i}$ (kWh/ano)	4623,0	1581,20

### 5.3 Lagos

Tabela 22 – Comparação dos dados climáticos entre os dois regulamento em Lagos (kWh/ano)

	RCCTE	REH
Zona	I1V1	I1V3
M aquecimento (meses)	5	4,8
Graus-dias (°C.dia)	970	987
Temperatura média Verão (°C)	21	23,1
$G_{Sul}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	108	155

No caso de Lagos a estação de aquecimento apresenta o mesmo índice mas a de arrefecimento não, a duração da estação de aquecimento é superior quando se aplica o RCCTE, e a diferença nos graus dias é apenas de 17 entre regulamentos. A temperatura média de verão apresenta 2,1 graus acima do novo regulamento.

Ganhos na estação de aquecimento e arrefecimento em kWh/ano

Tabela 23 – Comparação de ganhos na estação de Aquecimento (kWh/ano)

Estação de Aquecimento	RCCTE	REH
Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$	1067,77	1736,96
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$	1394,50	1338,72
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i}$	2389,78	2939,25
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	2462,78	3075,68
$\gamma$	0,43	0,58
$\eta$	0,97	0,96

Tabela 24 – Comparação de ganhos na estação de Arrefecimento (kWh/ano)

Estação de Arrefecimento	RCCTE	REH
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	925,87	878,03
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	611,82	1068,93
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1134,19	1134,19
Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$	1537,69	1946,42
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	2671,88	3081,15
$\gamma$	0,98	2,51
$\eta$	0,82	0,39

Tabela 25 – Valores de transferência de calor no verão e inverno (kWh/ano)

Perdas no verão e inverno	RCCTE	REH
$Q_{tr,v}$ (kWh/ano)	1330,48	942,22
$Q_{tr,i}$ (kWh/ano)	3923,38	4526,86
$Q_{ve,v}$ (kWh/ano)	902,41	285,75
$Q_{ve,i}$ (kWh/ano)	1793,72	811,15

## 5.4 Portalegre

Tabela 26 – Comparação dos dados climáticos entre os dois regulamento em Portalegre (kWh/ano)

	RCCTE	REH
Zona	I <sub>2</sub> V <sub>3</sub>	I <sub>1</sub> V <sub>3</sub>
M aquecimento (meses)	6,7	5,3
Graus-dias (°C.dia)	1740	1221
Temperatura média (°C)	23	24,5
$G_{Sul}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	93	145

Em Portalegre, acontece o mesmo que em Guarda e em Lagos, à exceção de que a zona climática de aquecimento é diferente, a duração da estação de aquecimento continua a ser superior no RCCTE, e os graus dias apresentam uma diferença de 519 graus, o que é bastante significativo. A temperatura média exterior no verão é superior no REH, assim como nos casos apresentados anteriormente.

### Ganhos na estação de aquecimento e arrefecimento em kWh/ano

Tabela 27– Comparação de ganhos na estação de Aquecimento (kWh/ano)

Estação de Aquecimento	RCCTE	REH
Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$	1232,09	1794,16
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$	1812,94	1478,17
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i}$	3026,34	3183,52
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	3044,94	3272,32
$\gamma$	0,30	0,46
$\eta$	0,99	0,98



Novamente verifica-se que os ganhos internos brutos na estação de aquecimento são superiores no RCCTE que no REH, os restantes parâmetros continuam a ser superiores no novo regulamento.

Tabela 28– Comparação de ganhos na estação de Arrefecimento (kWh/ano)

Estação de Arrefecimento	RCCTE	REH
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	995,84	861,32
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	634,47	1082,72
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1134,19	1134,19
Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$	1630,31	1944,04
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	2764,50	3078,23
$\gamma$	2,48	9,53
$\eta$	0,40	0,11

Na tabela 28 consta que os ganhos solares pela envolvente opaca são superiores no RCCTE, um facto que não se verificou nas outras localizações exceto em Lisboa. A razão pela qual isto acontece deve-se na diferença entre cada regulamento nos valores da intensidade da radiação solar para a estação convencional de arrefecimento.

Tabela 29 – Valores de transferência de calor no verão e inverno (kWh/ano)

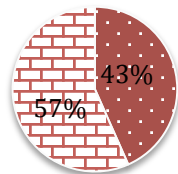
Perdas no verão e inverno	RCCTE	REH
$Q_{tr,v}$ (kWh/ano)	665,24	247,20
$Q_{tr,i}$ (kWh/ano)	7037,81	5600,09
$Q_{ve,v}$ (kWh/ano)	451,20	75,20
$Q_{ve,i}$ (kWh/ano)	3217,61	1003,46

Após o cálculo dos ganhos e perdas das localidades é importante ilustrar em percentagem os valores obtidos dos respetivos, antes de abordar as necessidades nominais de energia útil e primária.

Em relação aos ganhos para aquecimento tem-se:

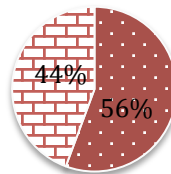
**Lisboa**

■ Qsol,i   ■ Qint,i



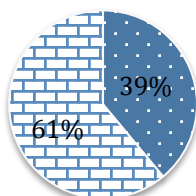
**Lisboa**

■ Qsol,i   ■ Qint,i



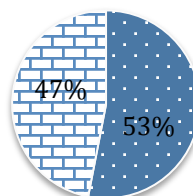
**Guarda**

■ Qopaca   ■ Qenv



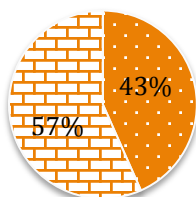
**Guarda**

■ Qopaca   ■ Qenv



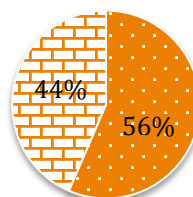
**Lagos**

■ Qsol,i   ■ Qint,i



**Lagos**

■ Qsol,i   ■ Qint,i



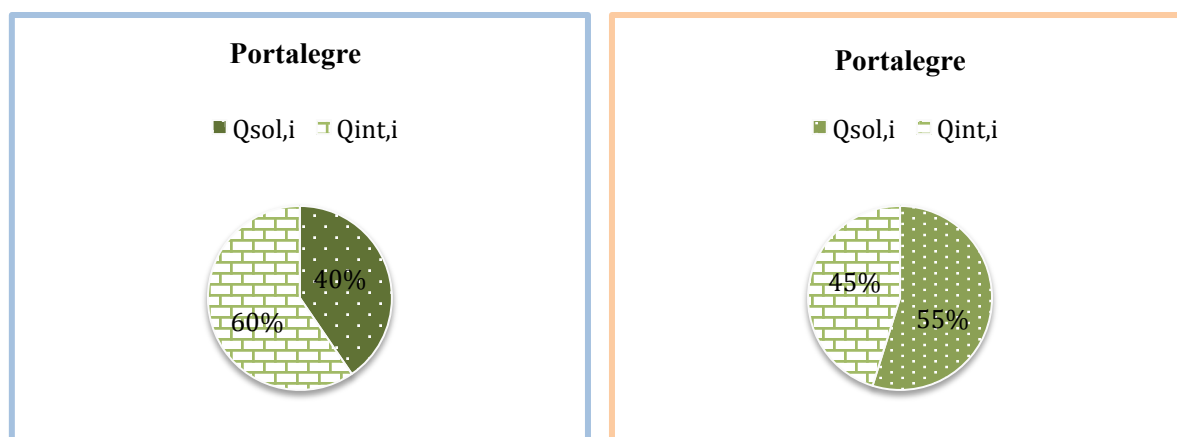
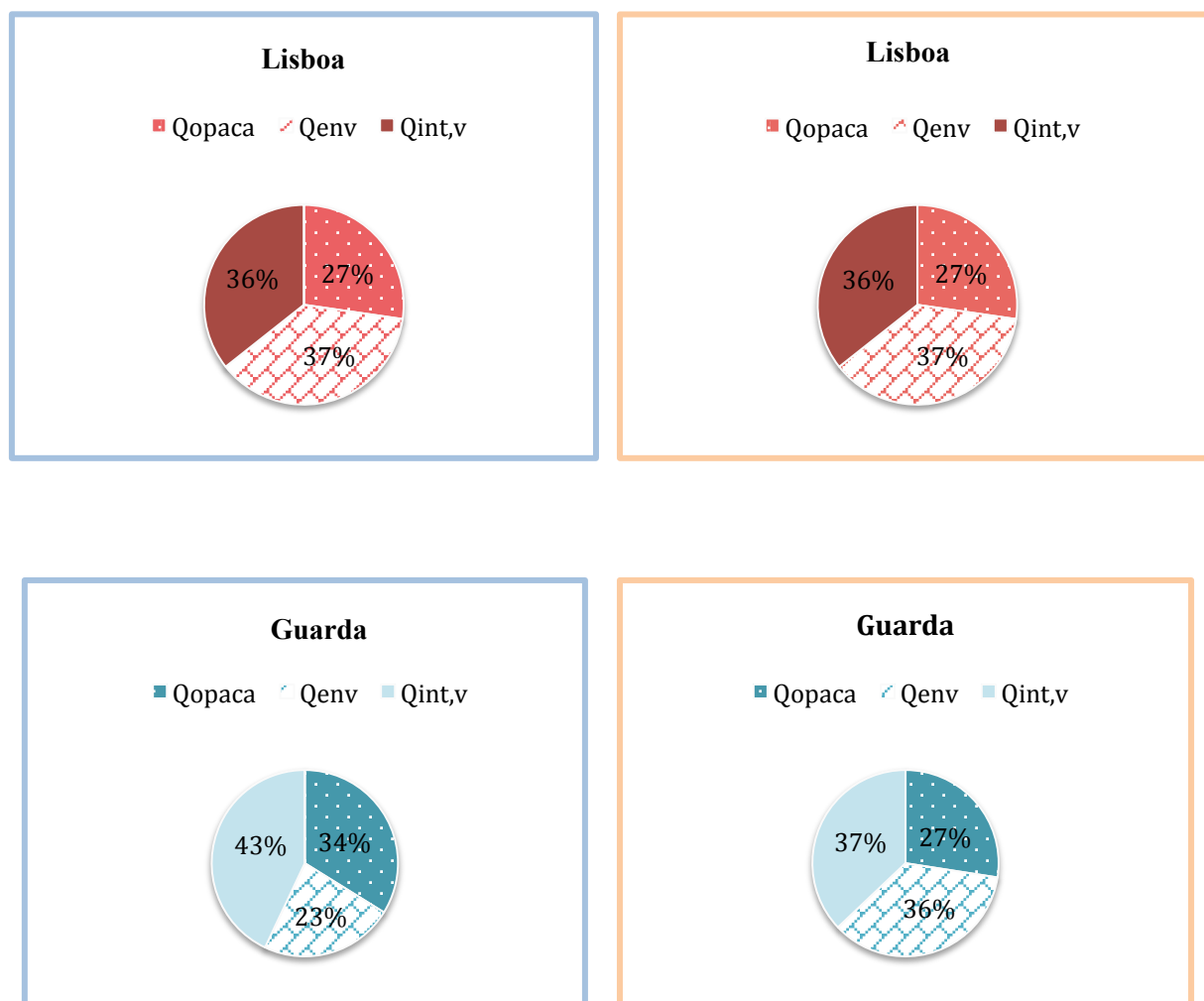


Fig. 25 – Ganhos de aquecimento nas quatro localidades com aplicação do RCCTE e do REH

Como os gráficos e as tabelas revelam, os ganhos na estação de aquecimento não sofrem uma grande variação entre regulamentos.

Em relação aos ganhos de arrefecimento nas quatro localidades tem-se:



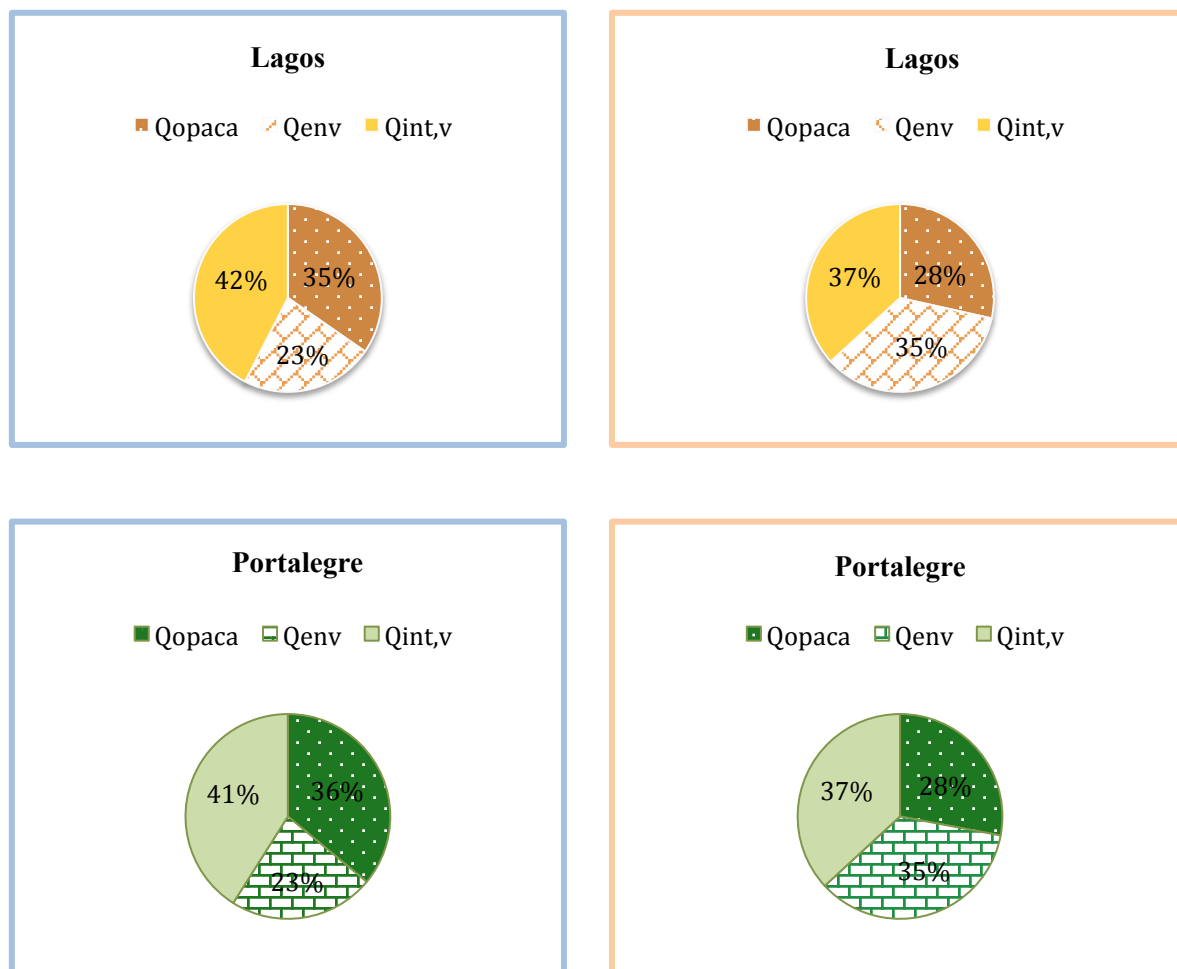
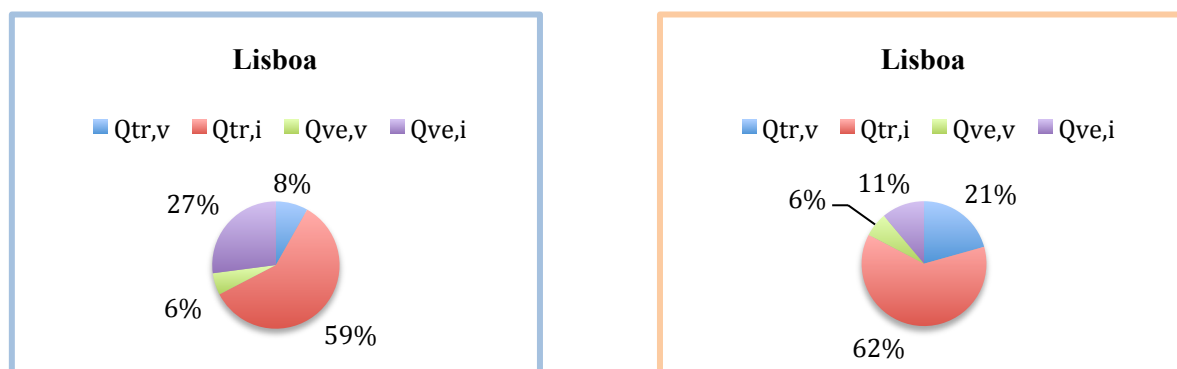


Fig. 26 – Ganhos de arrefecimento nas quatro localidades com aplicação do RCCTE e do REH

Quanto aos ganhos na estação de arrefecimento, em todas as localidades para os dois regulamentos os ganhos térmicos brutos (soma dos ganhos internos brutos e dos ganhos solares brutos), representam 100% do total dos ganhos. Lisboa é a cidade que apresenta maior ganhos através dos vãos envidraçados.

Por fim, as perdas de calor ocorridas no verão e no inverno encontram-se na seguinte figura para as quatro localidades:



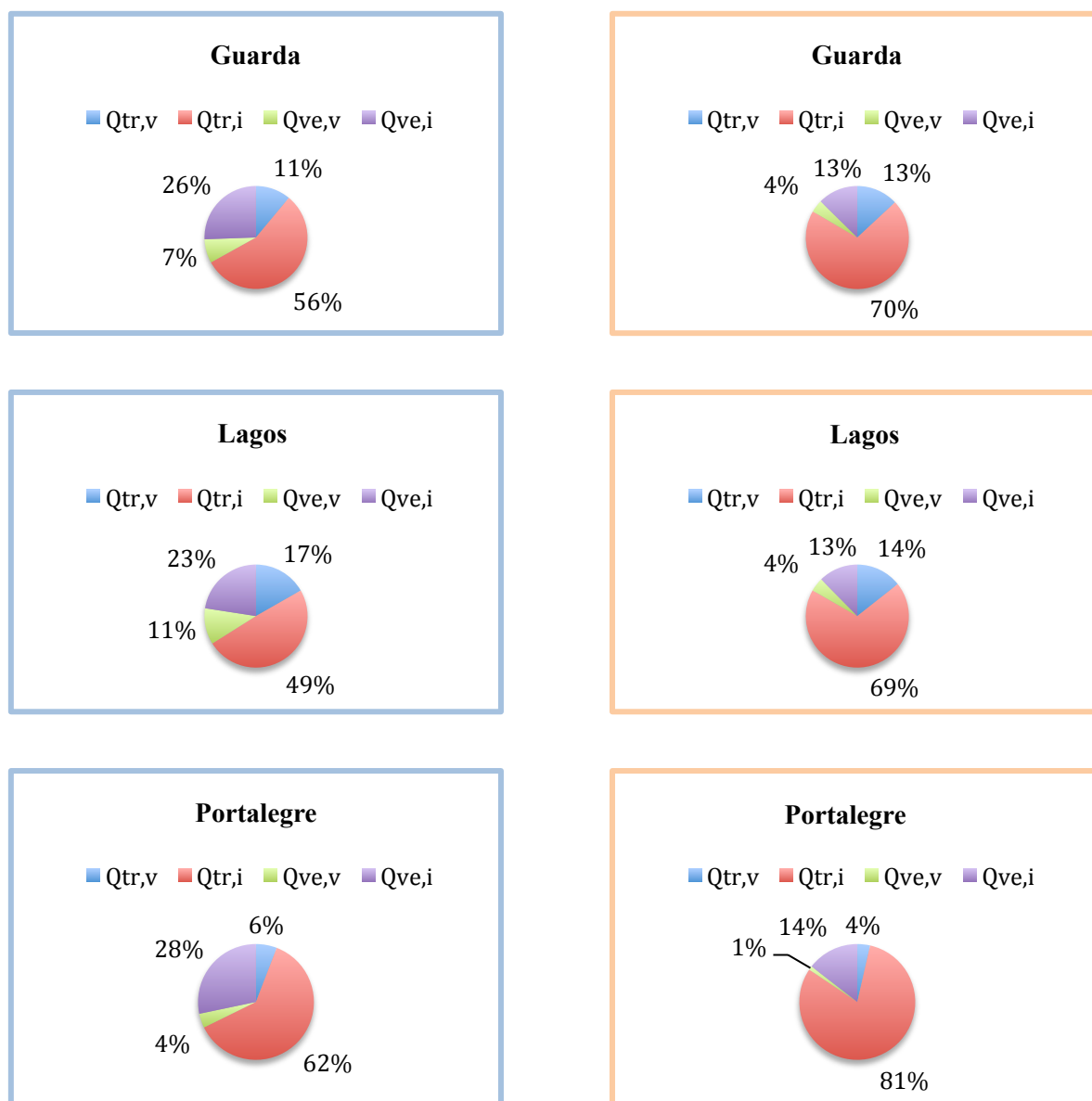


Fig. 27 – Perdas de calor no inverno e no verão nas quatro localidades com aplicação do RCCTE e do REH

Em ambos os regulamentos, a cidade que sofre maiores perdas por transmissão no inverno é Portalegre, mas no verão é a que sofre menos. Ao aplicar o REH, as perdas por transmissão no inverno são superiores ao RCCTE em todas as cidades. Por outro lado, nas perdas de calor por renovação de ar no inverno e no verão é o RCCTE que revela maiores percentagens, isto deve-se ao valor da taxa de renovação de ar ser superior no RCCTE que no REH.

Comparação das necessidades nominais anuais de energia útil em kWh/m<sup>2</sup>.ano

Como podemos analisar, Guarda destaca-se por apresentar maiores necessidades de aquecimento em ambos os regulamentos, de seguida Portalegre. Lisboa no RCCTE apresenta valores superiores a Lagos, contudo no REH a diferença não é relevante. Para as necessidades de arrefecimento, Portalegre e Lisboa são os apresentam maiores valores ao aplicar o RCCTE, mas no REH verifica-se a mesma situação, Portalegre continua a ser o que se destaca mas de seguida vem Lagos, o mesmo acontece no valor de referência para o arrefecimento.

Nas necessidades para águas quentes sanitárias a variância não é muito relevante, pois a energia solar obtida para cada cidade varia muito pouco, e no REH os valores são exatamente os mesmos, pois o seu método de cálculo não inclui nenhum fator que faça variar no âmbito da localização, o único fator variável é a energia solar obtida pelo Programa Solterm, fornecido pelo LNEG

Por fim, o valor de referência para o  $N_a$  no novo regulamento não é calculado, logo não é possível fazer uma comparação direta neste parâmetro.

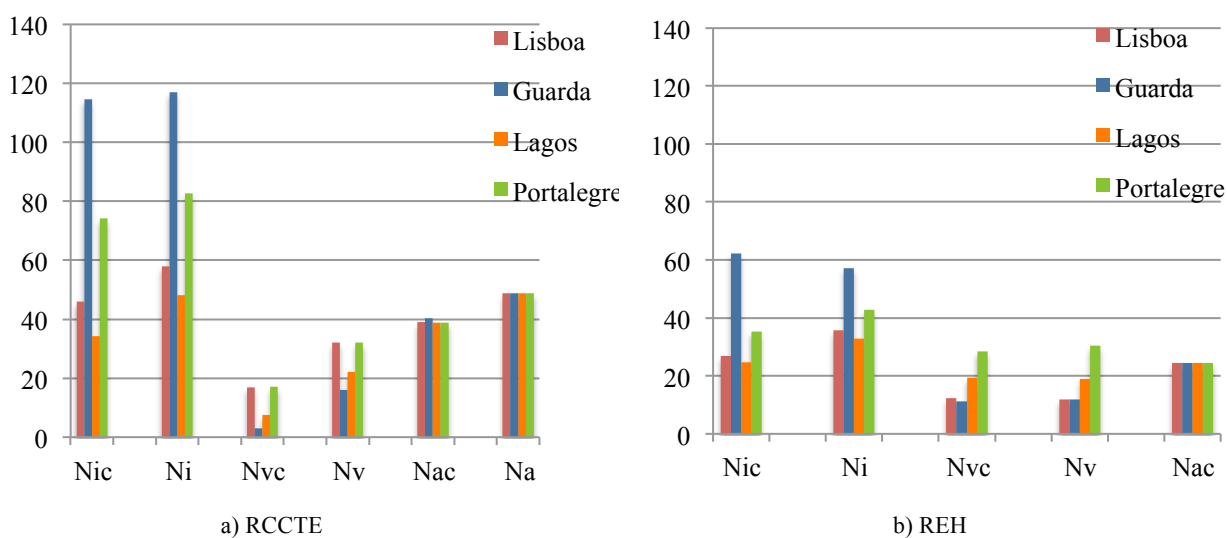


Fig. 28 – Necessidades nominais anuais de energia útil para as quatro localidades.

Comparação das necessidades globais e primárias das quatro localidades em estudo

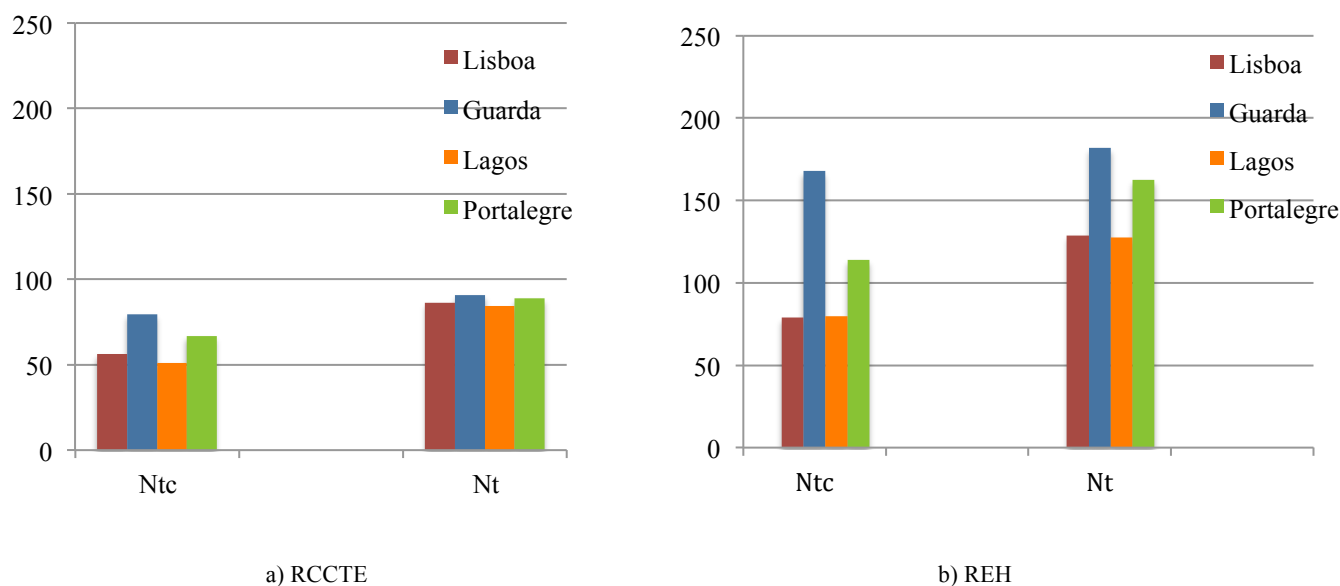


Fig. 29 – Necessidades globais anuais de energia primária para as quatro localidades.

Para as quatro cidades pode-se verificar que o novo regulamento é o que apresenta maiores valores, dado que o RCCTE considera que apenas 10% das necessidades de energia útil se traduzem efetivamente em consumo, logo Guarda e Portalegre são as que apresentam maiores necessidades globais de energia primária.

É importante frisar que no RCCTE este tipo de necessidades eram calculadas em kgep/m<sup>2</sup>.ano, logo converteu-se para a unidade utilizada nos dias de hoje, kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano.

O valor obtido não ultrapassa o valor de referência, logo satisfaz as necessidades. Por outro lado, é importante focar o fator dos 10% no RCCTE, pois se este não fosse considerado os valores das necessidades de energia primária seriam muito elevados, mas dado este facto, as necessidades nominais de energia primária são sempre inferiores ao REH. Já nas necessidades de energia útil o mesmo não acontece.

Quanto à relação entre N<sub>tc</sub> e N<sub>t</sub>, ou seja R, através dos gráficos é demonstrado que no REH os valores das necessidades primárias são superiores face ao RCCTE, o que implica que o R obtido no RCCTE seja menor.

Contudo apesar dos gráficos revelarem as diferenças estudadas, é importante mostrar os valores reais obtidos e de referência para as quatro localidades.

Tabela 30 - Valores obtidos e de referência para todas as localidades em estudo com o RCCTE.

RCCTE	Nic *	Ni *	Nvc *	Nv *	Nac *	Na *	Ntc **	Nt **
<b>Lisboa</b>	45,90	58,02	16,97	32	38,96	48,85	56,33	86,23
<b>Guarda</b>	114,52	116,93	3	16	40,41	48,85	79,37	90,57
<b>Lagos</b>	34,36	48,12	7,45	22	38,91	48,85	51,11	84,22
<b>Portalegre</b>	74,09	82,75	17,13	32	38,75	48,85	65,64	88,73

\*(kWh/m<sup>2</sup>.ano) \*\* (kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.ano)

Tabela 31 - Valores obtidos e de referência para todas as localidades em estudo com o REH

REH	Nic *	Ni *	Nvc *	Nv *	Nac *	Na *	Ntc **	Nt **
<b>Lisboa</b>	26,91	35,80	12,36	11,89	24,55	----	78,75	128,67
<b>Guarda</b>	62,20	57,12	11,30	11,80	24,55	----	167,71	181,88
<b>Lagos</b>	24,77	32,77	19,30	18,97	24,55	----	79,54	127,42
<b>Portalegre</b>	35,32	42,67	28,45	30,33	24,55	----	113,90	162,29

\*(kWh/m<sup>2</sup>.ano) \*\* (kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.ano).

Como se pode verificar, as necessidades de energia útil para arrefecimento em Lisboa e Lagos são superiores ao seu respetivo valor de referência, a razão deve-se ao facto que os valores de referência serem inferiores aos do RCCTE.

#### Classe energética RCCTE

Para toda a análise feita, face às necessidades, é necessário identificar a classe energética para o caso de estudo nas diferentes localizações, tanto para o RCCTE como para o REH, apesar da escala de avaliação diferir em certos valores, o objetivo e o método de cálculo são exatamente iguais. Logo o cálculo da classe energética obtém-se através de:

$$Rnt = \frac{Ntc}{Nt} \quad (5.1)$$



Em relação aos valores que R toma e a sua respetiva classe, encontram-se evidenciados na Figura 17 no subcapítulo 3.3.1.10.

Tabela 32– Classe energética para as quatro localidades

Localidade	Lisboa	Guarda	Lagos	Portalegre
Valor	0,65	0,88	0,61	0,74
Classe	B	B-	B	B

#### Classe energética REH

O cálculo da classe energética obtém-se através da equação 5.1 e os respetivos intervalos para valores de  $R_{Nt}$  apresentam poucas diferenças comparativamente com o RCCTE.

Tabela 33– Intervalos de valor de  $R_{Nt}$  para determinar a classe energética.

Classe Energética	Valor de $R_{Nt}$
A +	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

Tabela 34– Classe energética para as quatro localidades

Localidade	Lisboa	Guarda	Lagos	Portalegre
Valor	0,61	0,92	0,62	0,70
Classe	B	B-	B	B

Esta comparação revela que apenas na Guarda o caso de estudo possui uma classe diferente em ambos os regulamentos.

## 5.5 Caso de estudo em Lisboa – Piso intermédio – 2º andar

Assumiui-se o caso de estudo localizado num piso intermédio, isto significa que não ocorrem perdas pela cobertura. Os dados climáticos e referentes aos vãos envidraçados quanto à sua orientação e estação do ano mantêm-se

Já no caso dos coeficientes de transferência de calor ocorrem algumas diferenças, como se pode verificar na tabela 35.

Coeficientes de transferência de calor em W/°C

Tabela 35– Coeficiente de transferência de calor.

		RCCTE	REH
<b>EXTERIOR</b>			
Paredes exteriores U.A		19,09	
PT. Lineares $\Psi.B$		27,26	39,91
Vãos envidraçados U.A		38,34	
Cobertura U.A		Não há perdas pela cobertura	
<b>Total</b>		84,69	97,34
<b>INTERIOR</b>			
Paredes em contacto com espaços não-úteis		5,95	15,86
Paredes em contacto com edifícios adjacentes		21,73	
<b>Total</b>		27,68	37,60
<b>Ventilação</b>	verão	77,05	51,36
	inverno		34,24
<b>Coeficiente de transmissão</b>	verão	134,48	164,56
	inverno	189,42	169,18

O facto de se situar num piso intermédio implica que não ocorram perdas pela cobertura, o que consequentemente implica que as perdas totais pelo exterior e o coeficiente de transmissão para a estação de aquecimento e arrefecimento sejam diferentes comparativamente ao caso anterior. As perdas pelo interior e por ventilação mantêm-se iguais.

Ganhos na estação de aquecimento e arrefecimento em kWh/ano

Tabela 36– Comparação de ganhos na estação de Aquecimento (kWh/ano).

Estação de Aquecimento	RCCTE	REH
Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$	1131,84	1856,02
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$	1478,17	1478,17
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i}$	2484,94	2993,76
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	2610,0	3334,19
$\gamma$	0,48	0,77
$\eta$	0,95	0,90



Fig.30 – Ganhos na estação de aquecimento no piso intermédio

Tabela 37– Comparação de ganhos na estação de Arrefecimento em kWh/ano.

Estação de Arrefecimento	RCCTE	REH
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	103,47	100,97
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	611,82	1178,81
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1134,19	1134,19
Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$	715,29	1279,78
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	1849,48	2413,97
$\gamma$	1,42	1,52
$\eta$	0,65	0,62



Fig. 31 – Ganhos na estação de arrefecimento no piso intermédio

Os ganhos de aquecimento e arrefecimento são superiores no REH comparativamente com o RCCTE em todos os parâmetros.

Tabela 38– Valores das perdas de calor no verão e inverno em kWh/ano.

Perdas no verão e inverno	RCCTE	REH
$Q_{tr,v}$ (kWh/ano)	336,31	1093,79
$Q_{tr,i}$ (kWh/ano)	3209,29	3468,40
$Q_{ve,v}$ (kWh/ano)	451,20	496,39
$Q_{ve,i}$ (kWh/ano)	2200,55	880,18

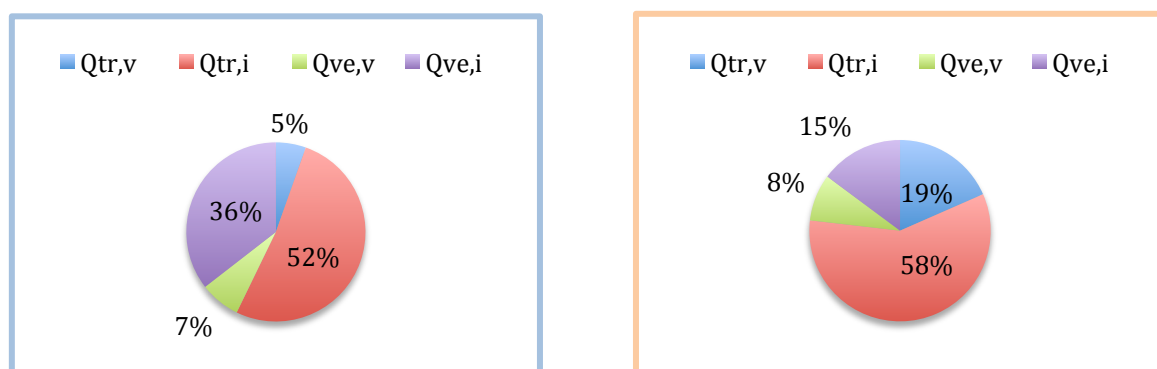


Fig. 32 - Perdas de calor no inverno e no verão para o piso intermédio

As perdas que ocorrem em Lisboa ao assumir que se localiza num piso intermédio são maiores em todos os fatores ao aplicar o REH excepto nas perdas por renovação de ar no inverno.

Tabela 39 – Valores nominais globais anuais de energia.

	RCCTE	REH
Nic *	30,20	13,99
Ni *	51,51	25,52
Nvc *	11,08	9,60
Nv *	32	11,89
Nac *	38,96	24,55
Na *	48,85	-----
Ntc **	50,39	44,00
Nt **	85,57	102,97

\* (kWh/m<sup>2</sup>.ano) \*\* (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano)

Necessidades nominais anuais globais em kWh/m<sup>2</sup>.ano e anuais primárias em kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano

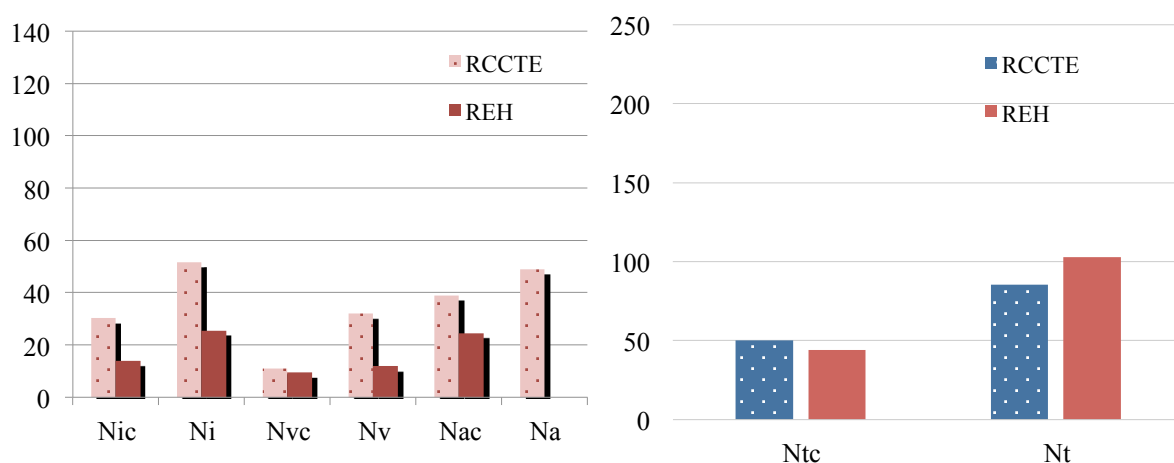


Fig. 33 –Comparação das necessidades globais anuais de energia útil (à esquerda) e das necessidades globais anuais primárias em kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano(à direita) para o piso intermédio

Gráficos referentes às necessidades nominais globais de energia útil em percentagem

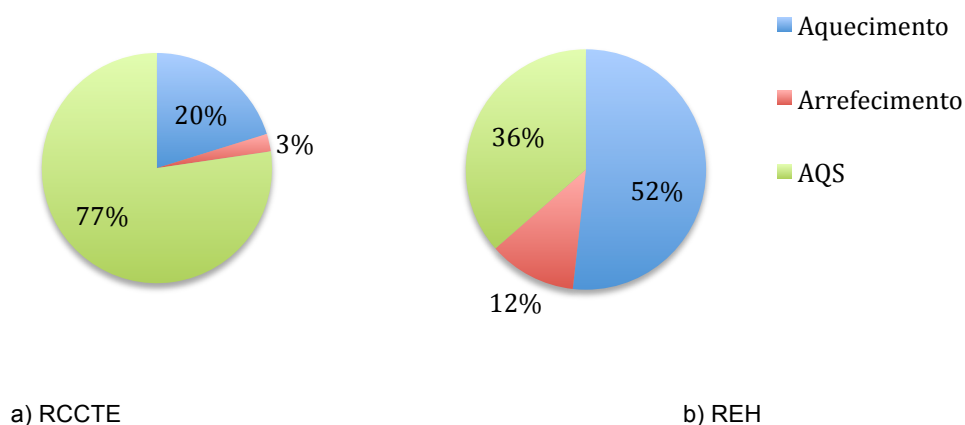


Fig. 34 – Percentagem de energia primária por tipo de uso sem fontes renováveis para o piso intermédio (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano)

Na seguinte análise de resultados verifica-se que as necessidades nominais de energia útil para aquecimento são bastante superiores no REH em mais 32% que no RCCTE.

Gráficos referentes à diferença de percentagens entre o RCCTE e o REH

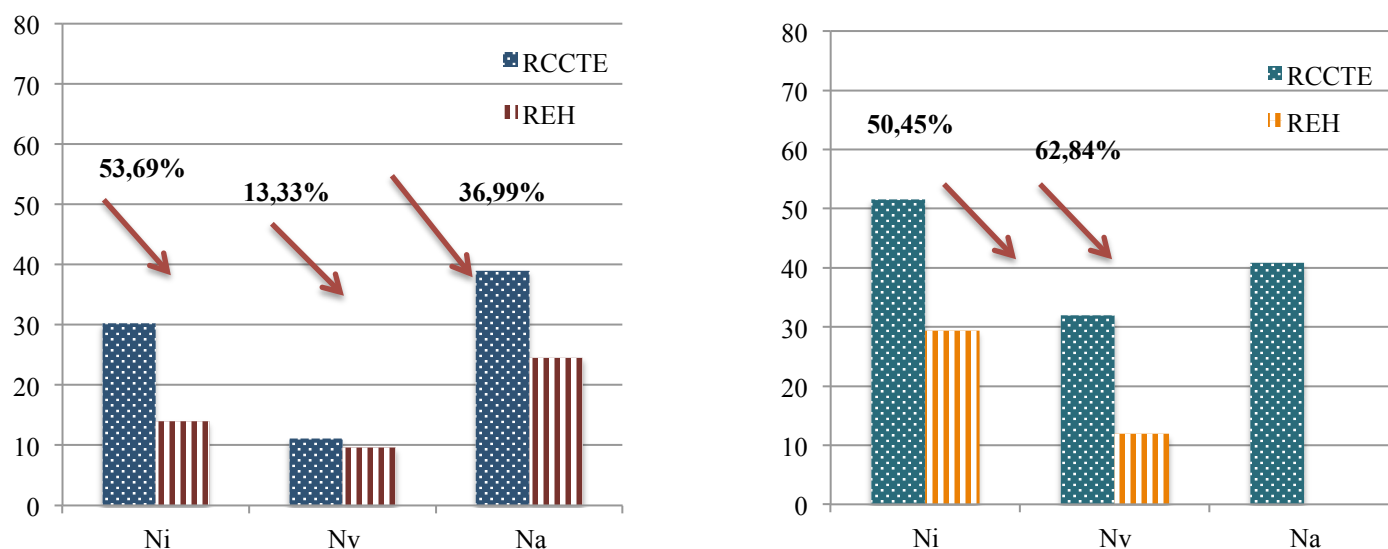


Fig. 35 – Diferença de percentagens entre o RCCTE e o REH para os valores das necessidades de energia útil em kWh/m<sup>2</sup>.ano, (à esquerda) e para os valores das necessidades nominais de energia primária. (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano) (à direita).

### Classe energética

Ao aplicar a equação 3.76, calcula-se a classe energética em ambos os regulamentos para o caso de estudo.

Tabela 40 – Classe energética do caso de estudo ‘pisso intermédio’

LISBOA	RCCTE	REH
Valor	0,59	0,42
Classe	B	A

A principal diferença entre este caso e o primeiro, deve-se ao facto da localização do apartamento ser num piso intermédio e, consequentemente, não existirem perdas através da cobertura. O  $N_{ic}$  e o  $N_i$  são diferentes face ao caso de estudo inicial devido à ausência de cobertura, mas as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento não sofrem uma diferença tão dispar, pois no cálculo do valor de referência ( $N_v$ ), o fator de utilização de ganhos é o mesmo. Verifica-se então na tabela 41 os valores dos dois casos para ambos os regulamentos.

Tabela 41 – Comparação dos dois regulamentos para os dois casos em Lisboa – 3º andar e 2º andar

Lisboa	$N_{ic}$ *	$N_i$ *	$N_{vc}$ *	$N_v$ *	$N_{ac}$ *	$N_a$ *	$N_{tc}$ **	$N_t$ **
3º - RCCTE	45,9	58,02	16,97	32	38,96	48,85	56,33	86,23
3º - REH	26,91	35,80	12,36	11,89	24,55	-----	78,75	128,67
2º - RCCTE	30,21	51,51	11,08	32	38,96	48,85	50,39	85,57
2º - REH	13,99	25,52	9,60	11,89	24,55	-----	44,00	102,97

\* (kWh/m<sup>2</sup>.ano) \*\* (kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.ano)

Através da tabela verifica-se que o  $N_{ic}$ ,  $N_i$ ,  $N_{vc}$  são inferiores neste caso de estudo.

O facto de não existir cobertura exterior neste caso de estudo, implica que o coeficiente de transferência de calor por transmissão seja inferior comparativamente ao primeiro caso de estudo. Os parâmetros onde existem maiores diferenças na estação de arrefecimento são nos ganhos térmicos, pois o valor que se obtém dos ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca não consta o valor da cobertura; e consequentemente os ganhos térmicos brutos, que implica que as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $N_{vc}$ ) sejam também inferiores face ao 3º andar.

Na estação de aquecimento, o facto do coeficiente de transmissão ser inferior implica que a transferência de calor por transmissão e os ganhos de calor úteis sejam bastante inferiores comparativamente ao caso de estudo inicial.

## 5.6 Lisboa – Orientação Solar – Este – Oeste

Neste subcapítulo assume-se que o caso de estudo se encontra localizado em Lisboa mas possui uma orientação diferente, isto é, em vez de estar a Norte – Sul, encontra-se a Este – Oeste. Os dados climáticos mantêm-se, apenas altera-se a orientação, o que consequentemente irá resultar numa alteração dos ganhos solares através dos vãos envidraçados.

Devido ao facto de existirem alterações na orientação o cálculos dos ganhos solares através dos vãos envidraçados é também alterado, tanto no RCCTE como no REH. A Tabela 42 apresenta esses novos valores:

Tabela 42 – Dados referentes aos vãos envidraçados – orientação E-O

	RCCTE		REH	
$F_g$	0,7			
$F_w$	0,9			
$g_{\perp}=g_{\perp}'$	0,07			
$g_{\perp_v}$	0,75			
Orientação	Oeste	Este	Oeste	Este
X	0,56	0,56	0,56	0,56
INVERNO				
$g_{i\perp}$	0,63		0,75	
$F_{\text{obst}} - F_s$	0,58	0,52	0,58	0,52
$F_h$	0,58	0,58	0,58	0,58
$F_o$	1	1	1	1
$F_f$	1	1 ou 0,896	1	1 ou 0,896
VERÃO				
$g_{\perp_v}$	0,75		0,75	
$F_{w,v}$	0,85	0,85	0,85	0,85
$F_{\text{obst}} - F_s$	1	1 ou 0,97	1	1 ou 0,97
$F_h$	1	1	1	1
$F_o$	1	1	1	1
$F_f$	1	1 ou 0,97	1	1 ou 0,97



$g_{\perp 70\%}$	0,27	n.a.	
$g_{tp}$	n.a.	0,648	
$g_v$	n.a.	0,297	0,297
$F_{m,v}$	n.a.	0,6	0,6

A explicação mais detalhada para os fatores de obstrução de inverno e verão encontra-se no subcapítulo 5.1, sendo que aqui se considera a orientação Este – Oeste.

Em relação aos coeficientes de transferência de calor em W/°C, estes não sofrem alterações face ao primeiro caso analisado em Lisboa.

Nos resultados obtidos após modificar os valores antigos para a nova orientação, nos ganhos na estação de aquecimento e arrefecimento, vão sofrer algumas variações, o que se apresenta na Tabela 43.

Tabela 43 – Comparação de ganhos na estação de Aquecimento (kWh/ano)

Estação de Aquecimento	RCCTE	REH
Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$	969,16	1632,45
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$	1478,17	1478,17
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i}$	2417,81	3000,50
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	2447,32	3110,62
$\gamma$	0,35	0,50
$\eta$	0,99	0,98

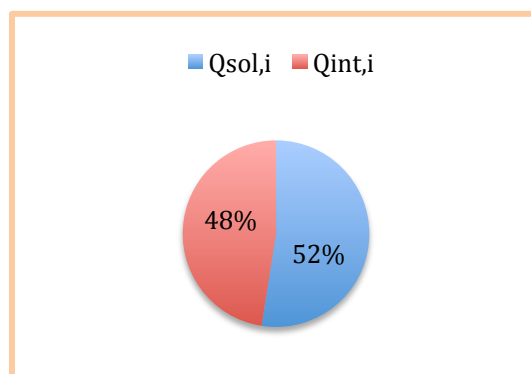
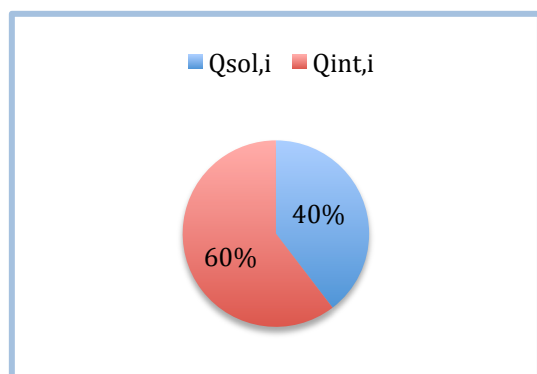


Fig. 36 – Ganhos na estação de aquecimento com a orientação E/O

Tabela 44 - Comparação de ganhos na estação de Arrefecimento (kWh/ano)

Estação de Arrefecimento	RCCTE	REH
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	1029,63	863,33
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	1056,32	1463,62
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1134,19	1134,19
Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$	2085,95	2326,95
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	3220,14	3461,14
$\gamma$	2,90	1,49
$\eta$	0,34	0,62

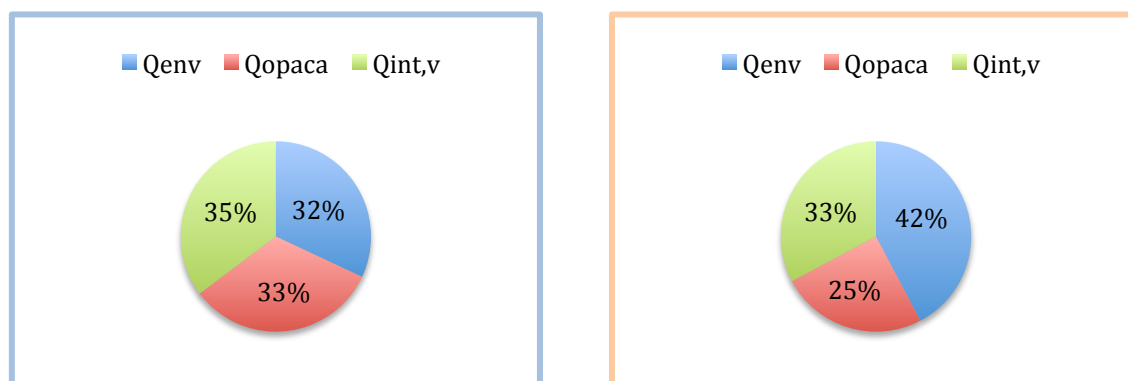


Fig. 37 – Ganhos na estação de arrefecimento com a orientação E/O

Tabela 45 – Perdas de calor no verão e inverno (kWh/ano)

Perdas no verão e inverno	RCCTE	REH
$Q_{tr,v}$ (kWh/ano)	665,18	1636,50
$Q_{tr,i}$ (kWh/ano)	4813,22	4912,12
$Q_{ve,v}$ (kWh/ano)	451,20	496,30
$Q_{ve,i}$ (kWh/ano)	2200,55	880,18

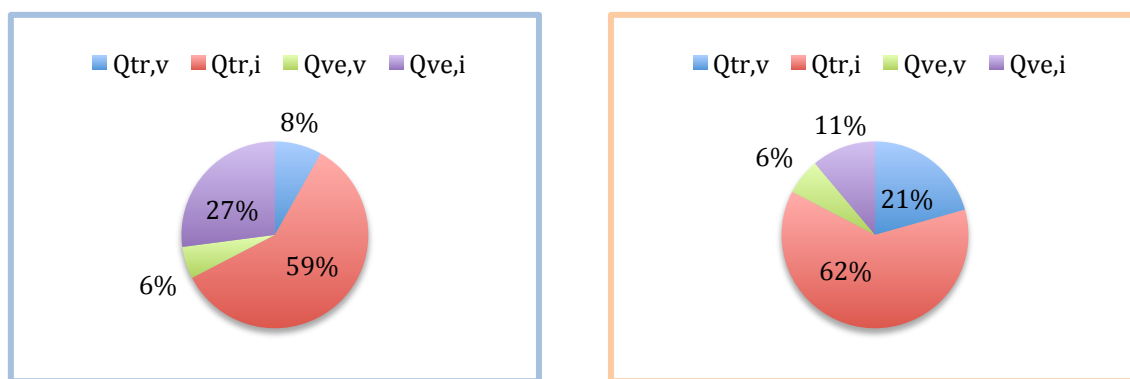


Fig. 38 – Perdas de calor no inverno e no verão com a orientação E/O

Em relação às perdas térmica para a orientação Este-Oeste, verifica-se que as perdas ao aplicar o RCCTE são superiores excepto nas perdas por renovação de ar no inverno.

Comparando o caso de estudo com nova exposição solar com a exposição N/S, verifica-se que mesmo ocorrendo algumas alterações em quase todos os fatores, a diferença entre os dois não é relevante. Os fatores de transferência de calor quer por transmissão como por renovação do ar (são fatores influentes, e que não estão diretamente relacionados com a exposição solar) mantém-se, daí não haver alterações discrepantes.

Na Tabela 46 compara-se as necessidades nominais anuais globais de energia primária tanto no RCCTE como no REH, concluindo-se que não apresentam grande discrepância face ao caso de estudo em Lisboa com orientação Norte-Sul.

Tabela 46 – Valores nominais globais anuais de energia

Lisboa	Nic *	Ni *	Nvc *	Nv *	Nac *	Na *	Ntc **	Nt **
<b>N-S</b> RCCTE	45,9	58,02	16,97	32	38,96	48,85	56,33	86,23
<b>N-S</b> REH	29,91	35,80	12,36	11,89	24,55	-----	78,75	128,67
<b>E-O</b> RCCTE	47,46	58,02	22,01	32	38,96	48,85	57,43	86,23
<b>E-O</b> 2º -REH	28,83	35,80	14,92	11,89	24,55	-----	85,84	128,67

\* (kWh/m<sup>2</sup>.ano) \*\* (kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.ano)

Todas as necessidades nominais de energia útil no caso Norte-Sul apresentam valores inferiores às necessidades calculadas com a orientação Este-Oeste

Necessidades nominais anuais de energia útil em kWh/m<sup>2</sup>.ano e de energia primária em kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano

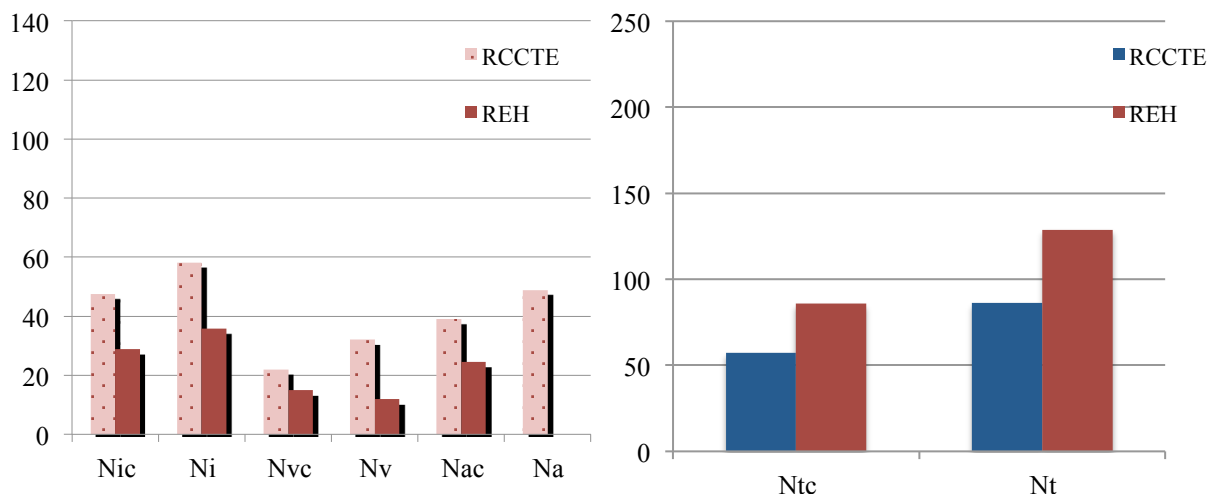


Fig. 39 –Comparação das necessidades globais anuais de energia útil (à esquerda) e das necessidades globais anuais primárias em kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano (à direita) para a orientação E/O.

Gráficos referentes às necessidades nominais globais de energia útil em percentagem

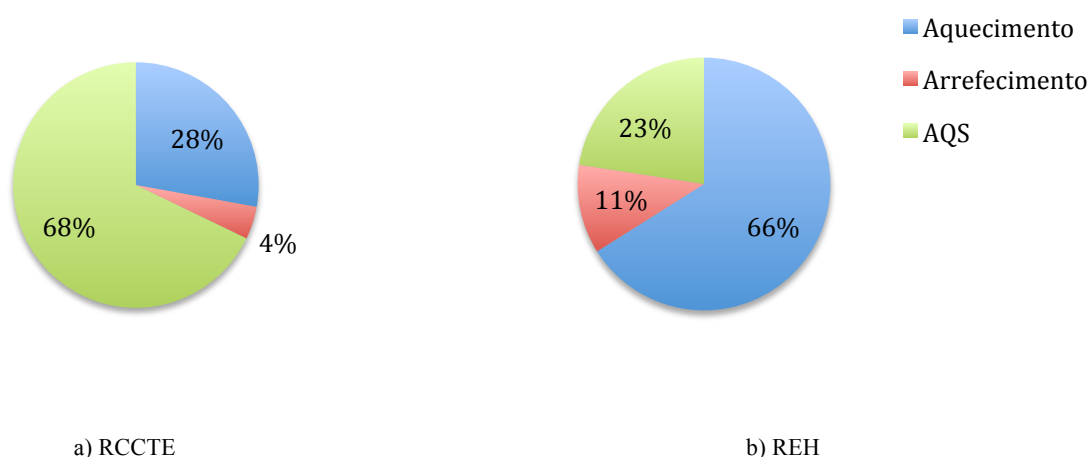


Fig. 40 – Percentagem de energia primária por tipo de uso sem fontes renováveis para a orientação E/O (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.ano)

Após a comparação das necessidades de energia útil em função da energia nominal primária, resulta que as necessidades para AQS, têm bastante peso no RCCTE, assim como as necessidades de energia útil para aquecimento no REH.

Gráficos referentes à diferença de percentagens entre o RCCTE e o REH

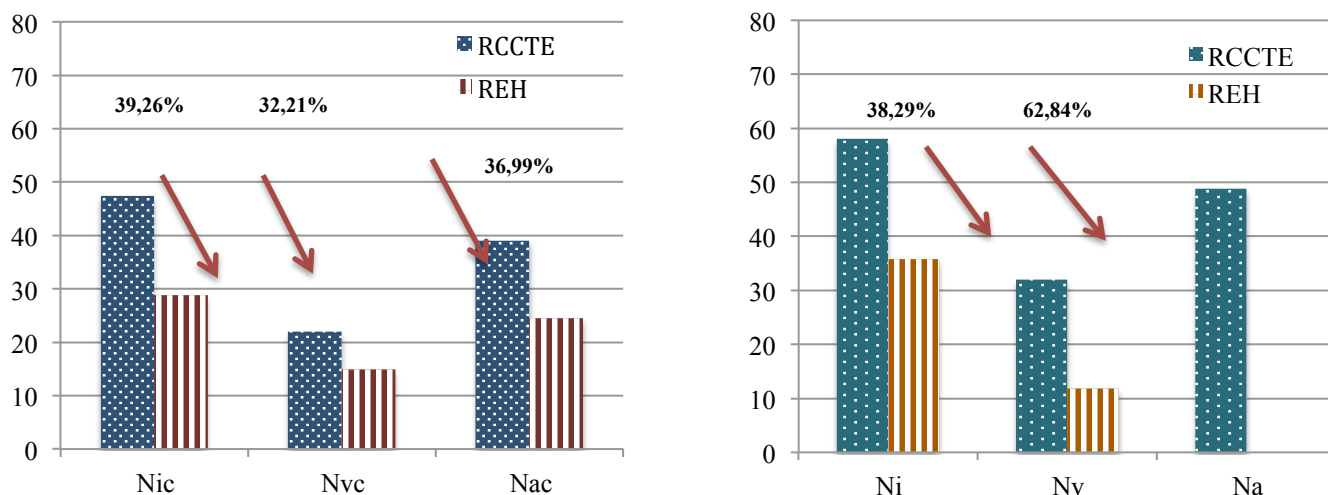


Fig. 41 – Diferença de percentagens entre o RCCTE e o REH para os valores das necessidades de energia útil (kWh/m².ano) (à esquerda) e para os valores das necessidades nominais de energia primária (kWhEP/m².ano) (à direita) para a orientação E/O.

Na figura 41, encontra-se representada a diferença percentual que ocorre entre as necessidades de aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias do REH comparativamente ao RCCTE. Verifica-se que as necessidades de aquecimento são, no REH, inferiores em **39%** face ao RCCTE, as necessidades de arrefecimento são **32%** inferiores e, por fim, as necessidades de AQS **37%** também inferiores.

Como os gráficos revelam, não há grande diferença face aos gráficos obtidos do caso de estudo de Lisboa ‘orientação Norte – Sul,’ que pode ser verificado na Figura 25 e 26.

Portanto em percentagem, no caso do REH, a única alteração foi uma subida de **6%** nas necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, **17%** para arrefecimento e **8%** para as necessidades nominais anuais de energia primária face ao caso de estudo Lisboa – ‘orientação Norte – Sul’.

No caso do RCCTE, a diferença é menos relevante, pois ao assumir a nova orientação, a percentagem de subida no caso da energia útil para aquecimento é de **3%**, na de arrefecimento **23%** e por fim para as necessidades de energia primária ocorre uma subida de **2%**.

#### Classe energética

Como a equação 3.76, a figura 17 (subcapítulo 3.3.1.10) e a Tabela 33 demonstram, obteve-se a seguinte classe energética para este caso de estudo:

Tabela 47 – Classe energética do caso de estudo com orientação E/O

LISBOA	RCCTE	REH
Valor	0,67	0,67
Classe	B	B

## 5.7 Norma EN ISO 13790 - 5R1C

Por fim, segue-se a aplicação da norma EN ISO 13790 – modelo 5R1C – método horário, que foi explicado no subcapítulo 3.2.5.

Para a estação de aquecimento, os inputs em causa foram o coeficiente dos vãos envidraçados exteriores, com um valor de 38,34 W/°C; o coeficiente da envolvente opaca, que consiste na soma da envolvente exterior (excepto os vãos envidraçados), que apresenta um valor de 115,2 W/°C e da envolvente interior – 37,60 W/°C. A ventilação é calculada através do caudal em m<sup>3</sup>/h – 251,78 e multiplica-se pelo valor da renovação do ar interior, que foi calculado anteriormente – 0,4. Os ganhos internos são obtidos a partir do produto entre a área do pavimento útil – 96,84 m<sup>2</sup> por 4 W/m<sup>2</sup>.

Para a opção abertura solar, coloca-se o valor da área efetiva coletora a Sul para a orientação Norte que resulta da soma dos dois envidraçados, logo 0,38 + 0,38. O valor obtido divide-se pelo fator de orientação X – 0,27 (Norte).

Para o caso Sul, existem três envidraçados nesta orientação, logo é a soma das áreas efetivas afetadas com o fator solar com o envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanente existentes, e não ocorre a divisão pelo fator de orientação X.

A opção - abertura solar com sombreamento na situação de inverno, tem exatamente o mesmo valor que é colocado em abertura solar, pois é colocado o valor do fator solar sem sombreamento.

Em suma, para a temperatura média de aquecimento, assumiu-se 100°C para a temperatura de arrefecimento e colocou-se na temperatura média de arrefecimento como o novo regulamento indica – 18°C. A razão dos 100°C é para garantir que só são calculadas as temperaturas para a estação de aquecimento, sendo assim obtiveram-se os seguintes gráficos:

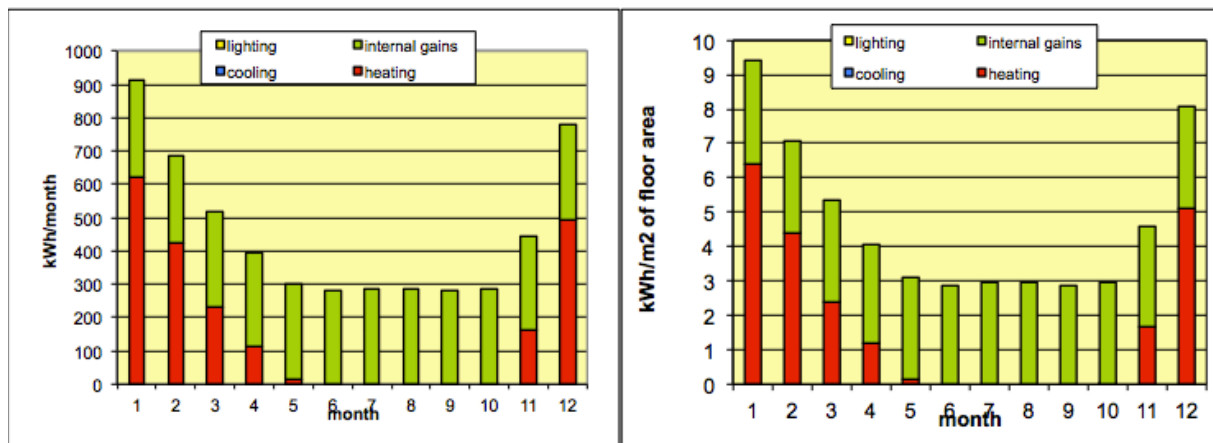


Fig. 42 – Necessidades nominais para energia útil de aquecimento em 12 meses, à esquerda kWh/mês e à direita kWh/m<sup>2</sup>.mês.

Tabela 48 – Valores nominais de energia útil para aquecimento

Inverno – orientação N/S - Lisboa	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
<b>REH</b>	26,91
<b>5R1C</b>	21,34

Como se pode verificar pela Tabela 48, as necessidades de energia útil para aquecimento são inferiores quando se utiliza um método de cálculo de base horária (método 5R1C), pois este método é mais preciso e faz uma análise horária, enquanto o REH está estipulado para as estações do ano-sazonal.

Para uma melhor comparação, procurou-se comparar os graus-dias dos meses da estação de aquecimento e a sua respetiva radiação a Sul, para se comparar diretamente com os dados que o REH indica (5,3 meses)

Tabela 49 – Valores obtidos dos parâmetro graus-dias e radiação a Sul para os meses de inverno

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Novembro	Dezembro	Total
GD	223,85	174,31	144,24	223,86	117,99	187,61	1071,86
Rad.Sul	115,82	112,09	123,25	115,82	119,08	94,29	113,39

Para a estação de arrefecimento, os inputs necessários são os mesmos, exceto na ventilação, pois o valor utilizado para a renovação do ar é  $0,6 \text{ h}^{-1}$ . Para a temperatura média de arrefecimento assume-se  $0^\circ\text{C}$  e para a temperatura de aquecimento e colocado como no regulamento indica –  $25^\circ\text{C}$  para a de arrefecimento, e em relação ao parâmetro da abertura solar para Norte, este consiste na soma da área efetiva dos dois envidraçados ( $2,52\text{m}^2$ ), e no caso Sul, consiste na soma dos três envidraçados ( $3,15 \text{ m}^2$ ). A área efetiva como se pode verificar na equação 5.1, é multiplicada pelo o fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes. Na equação 5.2 verifica-se a mesma situação que 5.1 mas utiliza-se o fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados.

A razão pela qual se coloca  $0^\circ$  para a temperatura de aquecimento é para que sejam apenas contabilizadas as necessidades de arrefecimento.

O cálculo realizado para se obter o valor do parâmetro da abertura solar resulta da seguinte equação:

$$A \times F_g \times G_{tp} \times F_s \quad (5.1)$$

No caso da opção de abertura solar com sombreamento para o caso Norte e Sul consiste em:

$$A \times F_g \times G_t \times F_s \quad (5.2)$$

onde é obtido para Norte –  $0,29 \text{ m}^2$  e para Sul –  $0,36 \text{ m}^2$ .

Tabela 50 – Valores nominais de energia útil para arrefecimento

Verão – orientação N/S - Lisboa	
	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
<b>REH</b>	12,36
<b>5R1C</b>	4



O valor calculado para as necessidades de energia útil para arrefecimento é negativo por convenção do método, sendo em termos absolutos de 4 kWh/m<sup>2</sup>.ano

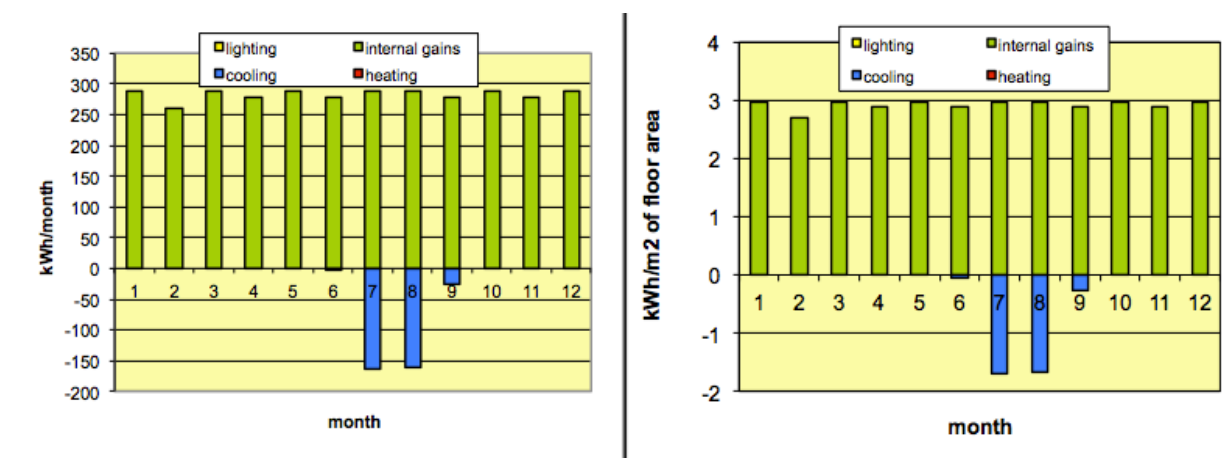


Fig. 43 – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento em 12 meses, à esquerda kWh/mês e à direita kWh/m<sup>2</sup>.mês.

Os gráficos revelam onde ocorrem as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, a verde são os ganhos internos

Tabela 51 – Valores da temperatura e radiação para a estação de arrefecimento

Temperatura media do ar exterior °C	Radiação a Norte (kWh/m <sup>2</sup> )	Radiação a Sul (kWh/m <sup>2</sup> )
21,7	223	411

Em suma, verifica-se que ao aplicar a metodologia 5R1C, os valores obtidos são inferiores face ao REH.

## 6. Conclusões

Tendo em conta a localização assumida para os casos de estudo analisados, o que se caracteriza por um conjunto de parâmetros climáticos assumidos no RCCTE e o REH, verifica-se que existe alguma variabilidade, nomeadamente: o número de graus-dias de aquecimento devido à diferente temperatura de base, a duração da estação de aquecimento e o valor da radiação solar mensal incidente numa superfície orientada a Sul. A duração da estação de arrefecimento não sofre alteração entre regulamentos, mas a temperatura média exterior é diferente do RCCTE para o REH.

No caso dos fatores referentes à orientação dos vãos, foram organizados por orientação (Norte e Sul), e estação para um melhor entendimento, tanto o fator do vidro e o fator de seletividade são iguais para ambos os regulamentos.

Em relação às perdas calculadas, estas foram dispostas em função do espaço que delimitam, isto é, exterior ou interior. Nos quatro casos de estudo em relação à localização, não houve alteração nos valores, pois os coeficientes de transmissão térmica e coeficientes de transmissão lineares são exatamente os mesmos. No que diz respeito à envolvente interior, ambos os regulamentos estão organizados por paredes em contacto com espaços não-úteis e paredes em contacto com edifícios adjacentes. É de frisar que ao aplicar o REH, o valor do coeficiente de calor por transmissão através de elementos em contacto com espaços não-úteis apresenta um valor superior face ao RCCTE, devido às alterações na forma de cálculo do coeficiente de redução de perdas.

No que diz respeito à ventilação, para o RCCTE, o valor da taxa de renovação de ar é igual em ambas as estações, com um valor de  $0,9\text{h}^{-1}$ . No REH é feita uma diferenciação: para o verão toma o valor  $0,6\text{ h}^{-1}$  e para o inverno  $0,4\text{ h}^{-1}$ , apresentando então um valor superior para a estação de arrefecimento.

Em relação aos ganhos solares brutos na estação de aquecimento, ao aplicar o RCCTE, neste parâmetro apenas são contabilizados os ganhos solares através dos vãos envidraçados pois a parte opaca não é contabilizada. Esta parcela varia muito consoante a localidade, dado que sofre a influência da duração da estação de aquecimento.

Já na estação de arrefecimento não se verifica uma diferença significativa nos ganhos solares pela envolvente opaca exterior, pelos vãos envidraçados exteriores, ganhos internos brutos, solares brutos e térmicos totais.

Das quatro localidades, as que apresentam maiores necessidades nominais de energia útil para arrefecimento são Portalegre (em ambos os regulamentos), Lagos (no REH) e Lisboa (no RCCTE). Para a produção de AQS, os valores respetivos às quatro localidades não variam muito no RCCTE uma vez que o valor da energia solar também não difere muito.

No que diz respeito ao valor limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária, Guarda e Portalegre apresentam os valores mais elevados para o conjunto de cidades avaliadas e face aos valores calculados.

Considerando o caso de estudo ‘piso intermédio’, onde não ocorrem perdas pela cobertura, todos os fatores que advêm do cálculo das perdas pela envolvente são inferiores – e consequentemente as necessidades de energia útil são também inferiores - em ambos os regulamentos, face ao caso Lisboa – 3º andar.

Por outro lado, o caso de Lisboa ‘orientação E – O’ apresenta maiores necessidades de energia útil e primária face ao caso ‘orientação Norte – Sul’, apesar de não serem diferenças muito significativas em comparação com o caso do piso intermédio.

Quanto à classe energética, tanto no RCCTE como no REH, verifica-se que essa é B para Lisboa, exceto quando aplicado o novo regulamento no caso ‘piso intermédio’ no qual se obteve classe A. Todos os casos de estudo foram classificados como B exceto Guarda, quer no RCCTE como no REH, com B-

Após a análise do caso de estudo e as suas respetivas variáveis, destacam-se os principais fatores no que diz respeito ao cálculo dos ganhos, perdas e das necessidades de energia útil nos regulamentos;

- A taxa de renovação de ar é muito superior no RCCTE comparativamente ao REH.
- Os graus-dias no RCCTE também são mais elevados em todo o país face ao REH, assim como a reformulação dos índices das zonas climáticas, pois estão organizados de forma diferente.
- No caso do RCCTE, para as necessidades nominais de energia primária apenas era contabilizado 10% do consumo das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento.
- As necessidades de energia útil para as águas quentes sanitárias são muito significativas no RCCTE, o que veio a comprovar-se ao longo do trabalho, dado que as percentagens são sempre mais elevadas que no REH.
- O valor de referência das AQS no RCCTE era calculado no intuito de comparar com as necessidades de energia útil, no entanto no REH não é realizada essa comparação.
- Por outro lado, no REH as necessidades de energia útil para aquecimento têm um peso maior como se observa ao longo do trabalho.
- Em relação aos valores de referência para as necessidades de energia útil de arrefecimento estes são mais baixos que os valores de referência do RCCTE, para prevenir situações de sobreaquecimento.

- O artigo 2.º do Dec Lei no 80/2006 refere que o RCCTE aplicava-se a cada uma das frações autónomas de todos os novos edifícios de habitação e de todos os novos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados, enquanto que o artigo 23.º do Dec Lei no 118/2013, afirma que este regulamento aplica-se aos edifícios destinados para habitação.

Por fim, ao comparar o caso de Lisboa com a orientação Norte – Sul segundo o novo regulamento REH com o modelo 5R1C, este último estima valores mais baixos para as necessidades de energia útil para arrefecimento e aquecimento. O método de cálculo do REH é sazonal enquanto o do modelo 5R1C é horário.

## 7. Referências Bibliográficas

Alves, Helder - Eficiência Energética em Edifícios do Lipor. [S.l.] : FEUP, 2011 Master.

*Balanço Energético Sintético* – Direção Geral de Energia e Geologia, 2013.

Camelo, Susana et al. - Manual de apoio à aplicação do RCCTE. 1. ed. Lisboa : INETI, 2006

Dec. Lei nº 80/2006 de 4 de Abril. (2006). *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.

Dec. Lei nº 118/2013 de 20 de Agosto. (2013). *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação*. Ministério da Economia do Emprego. Lisboa.

*Desafios e políticas no domínio de energia* – Contribuição da Comissão para o Conselho Europeu de 22 de Maio de 2013.

Despacho-Lei n.º 15793-B/2013. Diário da República, 2ª série – N.º234 – 3 de Dezembro de 2013. Lisboa.

Despacho-Lei n.º 15793-D/2013. Diário da República, 2ª série – N.º234 – 3 de Dezembro de 2013. Lisboa.

Despacho-Lei n.º 15793-E/2013. Diário da República, 2ª série – N.º234 – 3 de Dezembro de 2013. Lisboa.

Despacho-Lei n.º 15793-F/2013. Diário da República, 2ª série – N.º234 – 3 de Dezembro de 2013. Lisboa.

Despacho-Lei n.º 15793-H/2013. Diário da República, 2ª série – N.º234 – 3 de Dezembro de 2013. Lisboa.

Despacho-Lei n.º 15793-I/2013. Diário da República, 2ª série – N.º234 – 3 de Dezembro de 2013. Lisboa.

Despacho-Lei n.º 15793-K/2013. Diário da República, 2ª série – N.º234 – 3 de Dezembro de 2013. Lisboa.

EN ISO 13790. (2008). *Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling*. European Committee for Standardization. Bruxelas.

EUROSTAT – *Energy, Transport and Environment Indicators, 2010 Edition*. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2010.

*Guia de eficiência energética* – ADENE, 2012

Gonçalves, Helder; Graça, João - Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. 3. ed. [S.l.] :

DGGE, 2004. Lisboa p. [Consult. 12 set. 2014].

Parlamento Europeu e do Conselho, - Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho térmico energético dos edifícios. [S.l.] : Jornal oficial das Comunidades Europeias, 2002

Portaria n.º 349-B/2013. Diário da República, 1ª série – N.º232 – 29 de Novembro de 2013. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.

Portaria n.º 349-C/2013. Diário da República, 1ª série – N.º232 – 29 de Novembro de 2013. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa

Rodrigues, António; Braga, Ana; Canha, A - Térmica de Edifícios. Lisboa : Orion, 2009

Silva, Pedro - Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação VISUALDOE. [S.l.] : Universidade do Minho, 2006 Mestrado.

#### Websites

Aipex.es, - Aipex - Asociación Ibérica de Poliestireno extruído [Em linha], atual. 2014. [Consult. 15 out. 2014]. Disponível em  
WWW:<URL:http://www.aipex.es/bioclimatico\_po.php?idioma=po&s=2>.

Aulas-fisica-quimica.com, - Transferências de Energia [Em linha], atual. 2014. [Consult. 23 out. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://www.aulas-fisica-quimica.com/7e\_11.html>.

Crv.educacao.mg.gov.br, - Centro de Referência Virtual do Professor [Em linha], atual. 2014. [Consult. 9 nov. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://Crv.educacao.mg.gov.br>.

Epp.eurostat.ec.europa.eu, - Eurostat Home [Em linha], atual. 2014. [Consult. 20 out. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>.

Fisica.ufpr.br, - Meteorologia Básica [Em linha], atual. 2014. [Consult. 5 out. 2014]. Disponível em  
WWW:<URL:http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>.

Lopes, Ricardo - Construir Online, Biblioteca de Construção para Profissionais | Plataforma Verlag Dashöfer › Tópico › Desempenho Energético [Em linha], atual. 2014. [Consult. 17 out. 2014]. Disponível em  
WWW:<URL:http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=2568>.

Solerpalau.pt, - Soler & Palau, S.A. - Soluciones innovadoras [Em linha], atual. 2014. [Consult. 5 set. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://www.solerpalau.pt/formacion\_01\_39.html>.

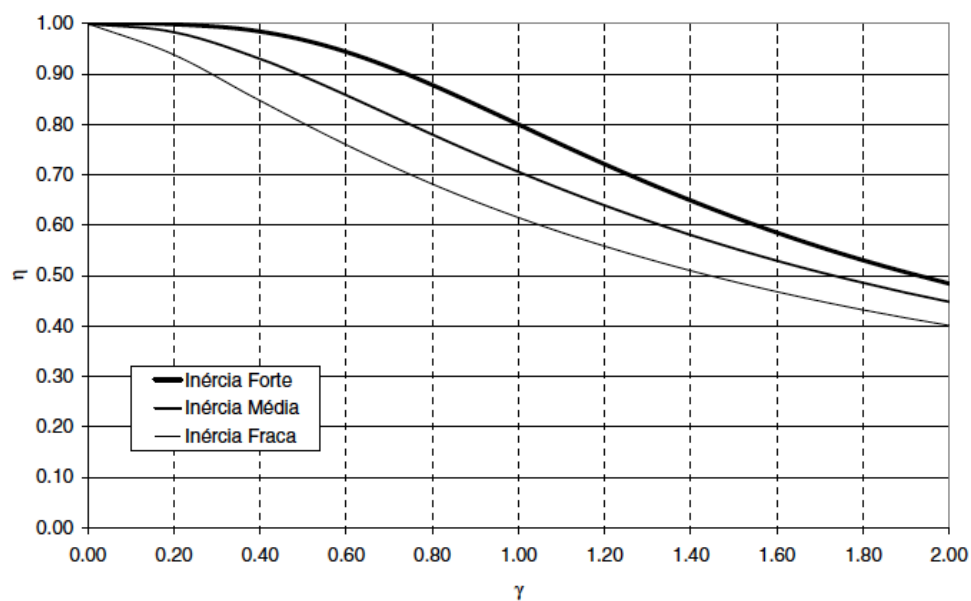
## 8. ANEXOS

### 8.1 ANEXO I

#### 8.1.1 RCCTE

Classe de exposição	Dispositivos de admissão na fachada	Permeabilidade ao ar das caixilharias (de acordo com a norma EN 12207)								Edifícios conformes com a NP 1037-1
		Sem classificação		Classe 1		Classe 2		Classe 3		
		Caixa de estore		Caixa de estore		Caixa de estore		Caixa de estore		
		Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	
1 .....	Sim .....	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	0,75	0,65	0,60
	Não .....	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
2 .....	Sim .....	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	
	Não .....	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
3 .....	Sim .....	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
	Não .....	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	
4 .....	Sim .....	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
	Não .....	1,15	1,05	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	

A.1 – Quadro IV.1 do Anexo IV – valores convencionais de  $R_{ph}$  (em  $h^{-1}$ ) para edifícios de habitação



A.2 - Gráfico IV.1 do Anexo IV referente à inércia térmica

TABELA IV.5

**Valores do factor de sombreamento do horizonte ( $F_h$ ) — Situação de Inverno**

Ângulo do horizonte	Horizontal	N.	NE./NW.	E./W.	SE./SW.	S.
<b>Latitude 39° (continente e Açores)</b>						
0° .....	1	1	1	1	1	1
10° .....	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97
20° .....	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90
30° .....	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67
40° .....	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50
45° .....	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45
<b>Latitude 33° (Madeira)</b>						
0° .....	1	1	1	1	1	1
10° .....	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20° .....	0,96	1	0,91	0,87	0,90	0,93
30° .....	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,80
40° .....	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45° .....	0,64	1	0,80	0,60	0,53	0,51

A.3 - Tabela IV.5 do Anexo IV – valores do fator de sombreamento do horizonte ( $F_h$ ) – Situação de Inverno

TABELA IV.6

**Valores do factor de sombreamento por elementos horizontais ( $F_o$ ) — Situação de Inverno**

Ângulo da pala	N.	NE./NW.	E./W.	SE./SW.	S.
<b>Latitude 39° (continente e Açores)</b>					
0° .....	1	1	1	1	1
30° .....	1	0,94	0,84	0,76	0,73
45° .....	1	0,90	0,74	0,63	0,59
60° .....	1	0,85	0,64	0,49	0,44
<b>Latitude 33° (Madeira)</b>					
0° .....	1	1	1	1	1
30° .....	1	0,92	0,82	0,68	0,45
45° .....	1	0,88	0,72	0,60	0,56
60° .....	1	0,83	0,62	0,48	0,43

A.4 - Tabela IV.6 do Anexo IV – valores do fator de sombreamento por elementos horizontais ( $F_o$ ) – Situação de Inverno



Valores do factor de sombreamento por elementos verticais ( $F_v$ ) — Situação de Inverno									
Posição da pala vertical	Ângulo da pala vertical	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	1,00	1,00	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1,00	1,00	1,00	0,95	0,88	0,86	0,80	0,84
	60°	1,00	1,00	1,00	0,91	0,83	0,79	0,72	0,80
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1,00	1,00
	45°	1,00	0,84	0,80	0,86	0,88	0,95	1,00	1,00
	60°	1,00	0,80	0,72	0,79	0,83	0,91	1,00	1,00
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	0,89	0,86	0,88	0,85	0,88	0,86	0,89
	45°	1,00	0,84	0,80	0,80	0,76	0,80	0,80	0,84
	60°	1,00	0,80	0,71	0,71	0,65	0,71	0,71	0,80

A.5 - Tabela IV.7 do Anexo IV – valores do fator de sombreamento por elementos verticais ( $F_v$ ) – Situação de Inverno

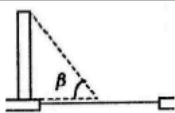
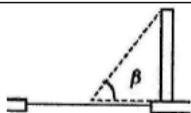
QUADRO V.1

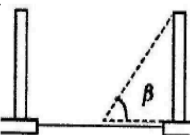
Valores do factor de sombreamento dos elementos horizontais ( $F_o$ ) — Situação de Verão

Ângulo da pala	N.	NE./NW.	E./W.	SE./SW.	S.
<b>Latitude 39° (continente e Açores)</b>					
0° .....	1	1	1	1	1
30° .....	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63
45° .....	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55
60° .....	0,94	0,70	0,55	0,50	0,52
<b>Latitude 33° (Madeira)</b>					
0° .....	1	1	1	1	1
30° .....	0,97	0,84	0,74	0,69	0,68
45° .....	0,95	0,76	0,63	0,60	0,62
60° .....	0,92	0,68	0,55	0,54	0,60

A.6 – Quadro V.1 do Anexo V – valores do fator de sombreamento por elemento horizontais ( $F_o$ ) – Situação de Verão

Valores do factor de sombreamento dos elementos verticais ( $F_v$ ) — Situação de Verão

Posição da pala vertical	Ângulo da pala vertical	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1,00
	45°	1,00	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1,00
	60°	1,00	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1,00
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	1,00	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	45°	1,00	1,00	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1,00	1,00	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69

Posição da pala vertical	Ângulo da pala vertical	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	0,86	0,90	0,91	0,82	0,91	0,90	0,86
	45°	1,00	0,78	0,92	0,84	0,74	0,84	0,92	0,78
	60°	1,00	0,69	0,86	0,75	0,67	0,75	0,86	0,69

A.7 – Quadro V.2 do Anexo V – valores do fator de sombreamento por elementos verticais ( $F_v$ ) – Situação de Verão.

	N.	NE./NW.	E./W.	SE./SW.	S.
Vidro simples .....	0,85	0,90	0,90	0,90	0,80
Vidro duplo .....	0,80	0,85	0,85	0,85	0,75

A.8 – Quadro V.3 do Anexo V – Valores do fator de correcção da selectividade angular dos envidraçados ( $F_w$ ) – Situação de Verão

Tipo de protecção	Vidro simples Cor da protecção			Vidro duplo Cor da protecção		
	Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
<b>Protecções exteriores:</b>						
Portada de madeira .....	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
Persiana:						
Réguas de madeira .....	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
Réguas metálicas ou plásticas .....	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
<b>Estore veneziano:</b>						
Lâminas de madeira .....	—	0,11	—	—	0,08	—
Lâminas metálicas .....	—	0,14	—	—	0,09	—
<b>Estore:</b>						
Lona opaca .....	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
Lona pouco transparente .....	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
Lona muito transparente .....	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
<b>Protecções interiores:</b>						
Estores de lâminas .....	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
Cortinas:						
Opacas .....	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
Ligeiramente transparentes .....	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
Transparentes .....	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
Muito transparentes .....	0,70	—	—	0,63	—	—
Portadas de madeira (opacas) .....	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
Persianas de madeira .....	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
Protecção entre dois vidros — estore veneziano, lâminas delgadas				0,28	0,34	0,40

A.9 – Quadro V.4 do Anexo V – Valores do fator solar de vãos com protecção solar activada a 100% e vidro incolor corrente (g<sub>⊥</sub>)

Cor da protecção	Clara	Média	Escura
Coefficiente de absorção solar da superfície exterior da protecção Cor .....	0,4 Branco. Creme. Amarelo. Laranja. Vermelho-claro.	0,5 Vermelho-escuro. Verde-claro. Azul-claro.	0,8 Castanho. Verde-escuro. Azul-vivo. Azul-escuro. Preto.

A.10 – Quadro V.5 do Anexo V – Cor da superfície exterior da protecção solar

Zona de Inverno	Energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento — $G_{Sul}$ (kWh/m <sup>2</sup> . mês)
I <sub>1</sub> :	
Continente .....	108
Açores .....	70
Madeira .....	100
I <sub>2</sub> :	
Continente .....	93
Açores .....	50
Madeira .....	80
I <sub>3</sub> :	
Continente .....	90
Açores .....	50
Madeira .....	80

A.11 – Quadro III.8 do Anexo III - Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento

Zona	$\theta_{atm}$	N.	NE.	E.	SE.	S.	SW.	W.	NW.	Horiz.
V <sub>1</sub> N. ....	19	200	300	420	430	380	430	420	300	730
V <sub>1</sub> S. ....	21	200	310	420	430	380	440	430	320	760
V <sub>2</sub> N. ....	19	200	320	450	470	420	470	450	320	790
V <sub>2</sub> S. ....	23	200	340	470	460	380	460	470	340	820
V <sub>3</sub> N. ....	22	200	320	450	460	400	460	450	320	800
V <sub>3</sub> S. ....	23	210	330	460	460	400	470	460	330	820
Açores .....	21	190	270	360	370	340	370	360	270	640
Madeira .....	21	200	300	380	380	320	370	380	300	700

A.12 – Quadro III.9 do Anexo III – Valores médios da temperatura do ar exterior e da intensidade da radiação solar para a estação convencional de arrefecimento (Junho a Setembro)

Tabela IV.4.1

**Factor solar de alguns tipos de vidro ( $g_{\perp v}$ )**

Tipo	Factor solar
Vidro simples: .....	
Incolor: .....	
4 mm .....	0,88
5 mm .....	0,87
6 mm .....	0,85
8 mm .....	0,82
Colorido na massa (bronze, cinza, verde):	
4 mm .....	0,70
5 mm .....	0,65
6 mm .....	0,60
8 mm .....	0,55
Reflectante incolor:	
De 4 mm a 8 mm .....	0,60
Reflectante colorido na massa (bronze, cinza, verde):	
De 4 mm e 5 mm .....	0,50
De 6 mm e 8 mm .....	0,45
Vidro duplo:	
Incolor + incolor:	
(4 a 8) mm + 4 mm .....	0,78
(4 a 8) mm + 5 mm .....	0,75
Colorido na massa + incolor:	
4 mm + (4 a 8) mm .....	0,60
5 mm + (4 a 8) mm .....	0,55
6 mm + (4 a 8) mm .....	0,50
8 mm + (4 a 8) mm .....	0,45
Reflectante incolor + incolor:	
(4 a 8) mm + (4 a 8) mm .....	0,52
Reflectante colorido na massa + incolor:	
(4 e 5) mm + (4 a 8) mm .....	0,40
(6 e 8) mm + (4 a 8) mm .....	0,35
Tijolo de vidro (incolor e sem relevos) .....	0,57

A.13 – Quadro IV.1 do Anexo IV - Fator solar de alguns tipos de vidro ( $g_{\perp v}$ )

QUADRO IV.2

**Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fracção autónoma**

Altura acima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
Menor que 10 m .....	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
De 10 m a 18 m .....	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
De 18 m a 28 m .....	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
Superior a 28 m .....	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4

A.14 – Quadro IV.2 do Anexo IV - Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fracção autónoma

	Octante N.	Octantes NE. e NW.	Octantes E. e W.	Octantes SE. e SW.	Octante S.	Horizontal
X .....	0,27	0,33	0,56	0,84	1	0,89

A.15 – Quadro IV.4 do Anexo IV – Factor de orientação

Tipo de caixilharia	$F_g$	
	Caixilho sem quadricula	Caixilho com quadricula
Janelas de alumínio ou aço .....	0,70	0,60
Janelas de madeira ou PVC .....	0,65	0,57
Fachadas-cortina de alumínio ou aço	0,90	

A.16 – Quadro IV.5 do Anexo IV – Fracção envidraçada para diferentes tipos de caixilharia

Tipologia	T0	T1	T2	T3	...	$T_n$
Número de ocupantes	2	2	3	4	...	$n + 1$

A.17 – Quadro VI.1 do Anexo V – Número convencional de ocupantes em função da tipologia da fracção autónoma

Tipo de edificios	Utilização	Número de dias de consumo de AQS
Edifícios residenciais Edifícios de serviços	Permanente .....	365
	Permanente .....	365
	Encerrado um dia por semana	313
	Encerrado um dia e meio por semana .....	287
	Encerrado dois dias por semana .....	261

A.18 – Quadro VI.2 do Anexo V – Número anual de dias de consumo

Paredes exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
PE.1 – Parede dupla exterior	19,48	0,54	10,52
PT.1 – Pilar	2,34	0,94	2,20
PT.2 – Viga	4,67	0,94	4,39
PT.3 – Caixa de Estore	2,13	0,93	1,98
		<b>Total</b>	<b>19,09</b>

A.19 – Perdas nas paredes exteriores

Coberturas exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
Cob.1 - Terraço	96,84	0,58	56,17

A.20 – Perdas na cobertura

Pontes térmicas lineares (Ligações entre:	Comprimento B (m)	$\psi$ (W/m.°C)	(W/°C)
Fachada com pavimentos intermédios	12,37	0,25	3,09
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	16,47	0,71	11,69
Duas paredes verticais	10,40	0,20	2,08
Fachada com caixa de estore	7,10	0	0
Fachada com ombreira, padieira ou peitoril	34,20	0,20	6,84
Outras	7,10	0,50	3,55

Necessidades nominais de energia em edifícios de habitação: comparação entre as metodologias  
RCCTE, REH e modelo 5R1C

<b>Total</b>	27,26
--------------	-------

---

A.21 – Perdas nas pontes térmicas lineares

Vãos Envidraçados exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U.A (W/°C)
ENV.1	3,00	2,70	8,10
ENV.2	3,00	2,70	8,10
ENV.3	3,00	2,70	8,10
ENV.4	2,20	2,70	5,94
ENV.5	3,00	2,70	8,10
<b>Total</b>			38,34

A.22 - Perdas associadas aos vãos envidraçados

Envolvente interior

Paredes em contacto com espaço não-úteis ou edificios adjacente	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
PI.1 – Parede dupla – caixa de escadas	11,01	1,00	0,30	3,30
PTI.1 – Pilares e Vigas – Caixa de escadas	2,51	1,72	0,30	1,30
Porta	1,80	2,50	0,30	1,35
PI.2 – Parede dupla – edificio adjacente	24,84	1,00	0,60	14,90
PTI.2 – Pilares e Vigas – edificio adjacente	6,62	1,72	0,60	6,83
<b>Total</b>				27,68

Tabela A.23 – Perdas nas paredes em contato com espaços não-úteis

Fatores de sombreamento e fator de obstrução referentes a cada vão envidraçado no inverno



Necessidades nominais de energia em edifícios de habitação: comparação entre as metodologias  
RCCTE, REH e modelo 5R1C

		Fh	Fo	Ff	Fs
ENV.1	Quarto – Norte	1	1	1	1
ENV.2	Quarto - Sul	1	1	1	1
ENV.3	Sala – Sul	0,45	1	1	0,41
ENV.4	Cozinha – Sul	0,45	1	1	0,41
ENV.5	Quarto – Sul	0,45	1	0,94	0,41

A.24 – Fatores de sombreamento e fator de obstrução utilizados no caso de estudo para a estação de aquecimento

		Fh	Fo	Ff	Fs
ENV.1	Quarto – Norte	1	1	1	1
ENV.2	Quarto - Sul	1	1	1	1
ENV.3	Sala – Sul	1	1	1	1
ENV.4	Cozinha – Sul	1	1	1	1
ENV.5	Quarto – Sul	1	1	0,93	0,93

A.25 – Fatores de sombreamento e fator de obstrução utilizados no caso de estudo para a estação de arrefecimento

No presente caso de estudo, os envidraçados da sala e da cozinha não têm palas verticais, exceto o envidraçado 5 (quarto Sul). Este forma um ângulo  $\beta = 24^\circ$ , o que significa que é necessário fazer uma interpolação entre  $0^\circ$  e  $30^\circ$  e obtém-se  $F_f = 0,93$ . O mesmo se faz quando se aplica o novo regulamento, e o valor é o mesmo pois as tabelas referentes aos fatores de sombreamento e de obstrução são os mesmos.

Ganhos solares pela envolvente opaca – por orientação e horizontal

	N	E	S	N	E	S	N	S	H
Área (m <sup>2</sup> )	5,34	2,65	11,50	1,99	1	4,03	0,90	1,23	96,84
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,54	0,54	0,54	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,56
$\alpha$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
$\alpha.U.A$	1,15	0,57	2,48	0,75	0,38	1,52	0,33	0,46	27,12
Int. Radiação solar	200	470	380	200	470	380	200	380	820
Ganhos solares	9,23	10,75	37,76	5,99	7,07	23,03	2,68	6,95	889,38

A.26 – Ganhos solares para cada orientação

Eficiências nominais		
Aquecimento	Resistência eléctrica	$\eta_i = 1$
Arrefecimento	Máquina frigorífica (ciclo de compressão)	$\eta_v = 3$

---

A.27 – Eficiências nominais  $\eta_i$  e  $\eta_v$  dos sistemas de aquecimento e arrefecimento

## 8.2 ANEXO B

### 8.2.1 REH

	z	M		GD		$\theta_{ext,i}$		$G_{Sul}$
	REF m	REF meses	a mês/km	REF °C	a °C/km	REF °C	a °C/km	kWh/m <sup>2</sup> por mês
Minho-Lima	268	7,2	1	1629	1500	8,2	-5	130
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	0	2015	1400	5,5	-4	125
Cávado	171	6,8	1	1491	1300	9,0	-6	125
Ave	426	7,2	0	1653	1500	7,8	-6	125
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130
Tâmega	320	6,7	0	1570	1600	7,8	-5	135
Douro	579	6,9	0	1764	1400	6,3	-4	135
Entre Douro e Vouga	298	6,9	1	1544	1400	8,4	-5	135
Baixo Vouga	50	6,3	2	1337	1100	9,5	-5	140
Baixo Mondego	67	6,3	0	1304	1000	9,7	-5	140
Beira Interior Norte	717	7,5	0	1924	1000	6,3	-3	135
Beira Interior Sul	328	5,4	1	1274	1800	9,1	-6	140
Cova da Beira	507	7,1	0	1687	1400	7,5	-5	140
Serra da Estrela	553	7,5	0	1851	1600	7,0	-5	135
Dão - Lafões	497	7,3	0	1702	1900	7,5	-6	135
Pinhal Interior Norte	361	6,8	0	1555	1600	8,3	-5	140
Pinhal Interior Sul	361	6,7	1	1511	1500	8,4	-4	145
Pinhal Litoral	126	6,6	0	1323	1900	9,6	-5	140
Oeste	99	5,6	0	1165	2200	10,3	-8	145
Médio Tejo	168	5,9	0	1330	1300	9,5	-4	145
Lezíria do Tejo	73	5,2	3	1135	2700	10,2	-7	145
Grande Lisboa	109	5,3	3	1071	1700	10,8	-4	150
Península de Setúbal	47	4,7	0	1045	1500	10,7	-4	145
Alto Alentejo	246	5,3	2	1221	1200	9,6	-3	145
Alentejo Central	221	5,3	2	1150	1100	10,0	-4	150
Alentejo Litoral	88	5,3	2	1089	1100	10,8	-2	150
Baixo Alentejo	178	5,0	0	1068	1000	10,7	-2	155
Algarve	145	4,8	0	987	1800	11,3	-6	155
R.A. Açores	10	2,9	1	604	1500	14,4	-7	110
R.A. Madeira	380	3,2	1	618	1500	14,8	-7	105

B.1 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento. (Tabela 04 do Despacho-Lei n.º 15793-F/2013)

	z	$\theta_{est, v}$		$I_{sol}$								
	REF	REF	a	kWh/m <sup>2</sup> acumulados de junho a setembro								
	m	°C	°C/km	0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW
Minho-Lima	268	20,5	-4	785	220	345	475	485	425	485	475	345
Alto Trás-os-Montes	680	21,5	-7	790	220	345	480	485	425	485	480	345
Cávado	171	20,7	-3	795	220	345	485	490	425	490	485	345
Ave	426	20,8	-3	795	220	350	490	490	425	490	490	350
Grande Porto	94	20,9	0	800	220	350	490	490	425	490	490	350
Tâmega	320	21,4	-3	800	220	350	490	490	425	490	490	350
Douro	579	22,7	-6	805	220	350	490	490	420	490	490	350
Entre Douro e Vouga	298	20,6	-3	805	220	350	490	490	425	490	490	350
Baixo Vouga	50	20,6	-2	810	220	355	490	490	420	490	490	355
Baixo Mondego	67	20,9	0	825	225	360	495	495	420	495	495	360
Beira Interior Norte	717	21,7	-5	820	220	355	495	500	425	500	495	355
Beira Interior Sul	328	25,3	-7	830	220	360	500	495	420	495	500	360
Cova da Beira	507	22,5	-6	825	225	360	495	495	425	495	495	360
Serra da Estrela	553	21,0	-4	820	225	355	495	495	420	495	495	355
Dão - Lafões	497	21,2	-3	815	220	355	495	490	415	490	495	355
Pinhal Interior Norte	361	21,2	-2	825	220	357	500	495	420	495	500	357
Pinhal Interior Sul	361	22,4	-3	830	225	360	500	500	420	500	500	360
Pinhal Litoral	126	20,1	-2	830	225	360	500	495	415	495	500	360
Oeste	99	21,0	0	830	225	360	500	495	415	495	500	360
Médio Tejo	168	22,1	-7	835	220	360	500	495	415	495	500	360
Lezíria do Tejo	73	23,1	-6	835	225	365	500	495	410	495	500	365
Grande Lisboa	109	21,7	-10	840	225	365	500	495	410	495	500	365
Península de Setúbal	47	22,8	-5	845	225	365	505	495	410	495	505	365
Alto Alentejo	246	24,5	0	845	225	365	505	500	415	500	505	365
Alentejo Central	221	24,3	0	850	225	370	510	500	415	500	510	370
Alentejo Litoral	88	22,2	0	850	225	365	510	495	405	495	510	365
Baixo Alentejo	178	24,7	0	855	225	370	510	495	405	495	510	370
Algarve	145	23,1	0	865	225	375	515	500	405	500	515	375
R.A. Açores	10	21,3	-6	640	195	285	375	375	235	375	375	285
R.A. Madeira	380	20,2	-6	580	195	260	325	320	280	320	325	260

B.2 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento. (Tabela 05 do Despacho-Lei n.º 15793-F/2013)

Tipo de ligação		Sistema de isolamento das paredes		
		Isolamento interior	Isolamento exterior	Isolamento repartido ou na caixa de ar de parede dupla
Fachada com pavimentos térreos		0,80	0,70	0,80
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	Isolamento sob o pavimento	0,75	0,55	0,75
	Isolamento sobre o pavimento	0,10	0,50	0,35
Fachada com pavimento de nível intermédio <sup>(1)</sup>		0,60	0,15 <sup>(2)</sup>	0,50 <sup>(3)</sup>
Fachada com varanda <sup>(1)</sup>		0,60	0,60	0,55
Fachada com cobertura	Isolamento sob a laje de cobertura	0,10 <sup>(4)</sup>	0,70	0,60
	Isolamento sobre a laje de cobertura	1,0	0,80	1,0
Duas paredes verticais em ângulo saliente		0,10	0,40	0,50
Fachada com caixilharia	O isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	0,10	0,10	0,10
	O isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	0,25	0,25	0,25
Zona da caixa de estores		0,30	0,30	0,30

B.3 do REH – Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares  $\Psi$  (W/m.°C) – (Tabela 07 do Despacho-Lei n.º 15793-K/2013)

$b_{tr}$	$V_{enu} \leq 50\text{m}^3$		$50\text{m}^3 < V_{enu} \leq 200\text{m}^3$		$V_{enu} > 200\text{m}^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

B.4 – Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis,  $b_{tr}$  - (Tabela 22 do Despacho-Lei n.º 15793-K/2013)

Composição do vidro		$g_{L,vi}$
Vidro Simples	Incolor 4mm	0,88
	Incolor 5mm	0,87
	Incolor 6mm	0,85
	Incolor 8mm	0,82
	Colorido na massa 4mm	0,70
	Colorido na massa 5mm	0,65
	Colorido na massa 6mm	0,60
	Colorido na massa 8mm	0,50
	Refletante Incolor 4 a 8mm	0,60
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm	0,50
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm	0,45
	Fosco	(1)
Vidro Duplo (ext + int)	Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 mm	0,78
	Incolor 4 a 8mm + Incolor 5 mm	0,75
	Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8 mm	0,60
	Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,55
	Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8 mm	0,50
	Colorido na massa 8mm Incolor 4 a 8 mm	0,45
	Refletante Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,52
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,40
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,35
	Tijolo de Vidro	0,57
	Fosco	(1)

B.5 – Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão (Tabela 12 do Despacho-Lei n.º 15793-K/2013)

Tipo de Proteção		$g_{TTC}$					
		Vidro Simples			Vidros Duplos		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções exteriores	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,2
Proteções interiores	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-
	Portadas opacas	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Persianas	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
	Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,40

B.6 – Fator solar dos vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar  $g_{Tvc}$  (Tabela 13 do Despacho-Lei n.º 15793-K/2013)

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°						RAM Latitude de 33°					
	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90	0,96	1	0,91	0,87	0,90	0,93
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,80
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45	0,64	1	0,80	0,60	0,53	0,51

B.7 – Valores do fator de sombreamento do horizonte  $F_h$  na estação de aquecimento (Tabela 15 do Despacho-Lei n.º 15793-K/2013)

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	N	NE/ NW	E/W	SE /SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73	1	0,92	0,82	0,68	0,45
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59	1	0,88	0,72	0,60	0,56
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44	1	0,83	0,62	0,48	0,43

B.8 – Valores do fator de sombreamento do horizonte  $F_o$  na estação de aquecimento (Tabela 16 do Despacho-Lei n.º 15793-K/2013)

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	N	NE/ NW	E/W	SE /SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63	0,97	0,84	0,74	0,69	0,68
45°	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55	0,95	0,76	0,63	0,60	0,62
60°	0,94	0,70	0,55	0,50	0,52	0,92	0,68	0,55	0,54	0,60

B.9 – Valores do fator de sombreamento do horizonte  $F_o$  na estação de arrefecimento (Tabela 17 do Despacho-Lei n.º 15793-K/2013)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,8	0,84
	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,8
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	45°	1	0,84	0,8	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,8	0,72	0,79	0,83	0,91	1	1

B.10 – Valores do fator de sombreamento do horizonte  $F_f$  na estação de aquecimento (Tabela 18 do Despacho-Lei n.º 15793-K/2013)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	45°	1	1	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1	1	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1
	45°	1	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1
	60°	1	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1

B.11 – Valores do fator de sombreamento do horizonte  $F_f$  na estação de arrefecimento (Tabela 19 do Despacho-Lei n.º 15793-K/2013)

Tipo de ligação	$\psi$ [W/(m.°C)]
Fachada com pavimentos térreos Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido Fachada com cobertura Fachada com pavimento de nível intermédio <sup>(1)</sup> Fachada com varanda <sup>(1)</sup>	0,70
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,50
Fachada com caixilharia Zona da caixa de estore	0,30

B.12 – Valores do fator de sombreamento do horizonte  $F_f$  na estação de arrefecimento (Tabela 03 do Despacho-Lei n.º 15793-E/2013)



Cor	$a$
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

B.13 – Coeficiente de absorção da radiação solar,  $a$  (Tabela 08 do Despacho-Lei n.º 15793-K/2013)

## 8.2.2 Valores de referência – Lisboa – 1º caso de estudo

### Ganhos inverno

REH	Referência
$Q_{sol,i}$ (kWh/ano)	528,75
$Q_{int,i}$ (kWh/ano)	1478,17
$Q_{g,i}$ (kWh/ano)	2006,91

B.14 – Valores de referência para Lisboa – ganhos inverno

### Ganhos Verão

	Referência
$Q_{sol,v}$ (kWh/ano)	-----
$Q_{int,v}$ (kWh/ano)	-----
$Q_{g,v}$ (kWh/ano)	5298,31

B.15 – Valores de referência para Lisboa – ganhos verão

Valores calculados

Envolvente Exterior

<b>Elementos Opacos exteriores</b>	<b>Área</b>	<b>U</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.C)</b>	
Parede dupla exterior	19,48	0,54	10,52
Ponte térmica - pilar	2,34	0,94	2,2
Ponte térmica - viga	4,671	0,94	4,40
Ponte térmica - caixa de estore	2,13	0,93	1,98
Vãos opacos exteriores 1	5,34	0,54	2,88
Vãos opacos exteriores 2	2,65	0,54	1,43
Vãos opacos exteriores 3	11,5	0,54	6,21
Vãos opacos exteriores 4	1,99	0,94	1,88
Vãos opacos exteriores 5	1	0,94	0,94
Vãos opacos exteriores 6	4,03	0,94	3,79
Vãos opacos exteriores 7	0,9	0,93	0,84
Vãos opacos exteriores 8	1,23	0,93	1,14
	<b>57,26</b>	<b>Total</b>	<b>38,19</b>

B.16 – Perdas associadas aos parâmetros exteriores (parede, caixa de estore, vãos)

<b>Pontes térmicas lineares</b>	<b>Comp. B (m)</b>	<b>Ψ (W/m<sup>2</sup>.C)</b>	<b>Ψ.B (W/°C)</b>
Fachada com pavimentos intermédios	12,37	0,7	8,66
Fachada c cobertura inclinada ou terraço	16,47	0,7	11,53
Duas paredes verticais	10,4	0,5	5,2
Fachada com caixa d estore	7,1	0,3	2,13
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	34,2	0,3	10,26
Outras	7,1	0,3	2,13
Total	87,64		39,91

B.17 – Perdas nas pontes térmicas lineares

Envolvente Interior:

Elementos Opacos em contacto com espaços não-úteis	Área m <sup>2</sup>	U (W/m <sup>2</sup> .C)	btr	U.A.btr (W/°C)
parede dupla - caixa de escadas	11,01	1	0,8	8,81
pilares e vigas caixa de escadas	2,51	1,72	0,8	3,45
porta	1,8	2,5	0,8	3,6
<b>Total</b>				15,86

Tabela B.18 – Perdas através dos elementos opacos em contato com espaços não-úteis

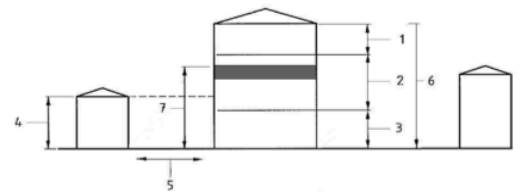
Elementos opacos em contato com edificios adjacentes	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .C)	btr	U.A.btr (W/°C)
Parede dupla – edificio adj	24,84	1	0,6	14,90
Pilares e vigas - edificio adjacente	6,62	1,72	0,6	6,83
<b>Total</b>				21,74

Tabela B.19 – Perdas através dos elementos opacos em contato com edificios adjacentes

## 8.3 ANEXO C

### Folha de cálculo fornecida pelo LNEC para obter a ventilação natural no REH

LNEC LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL		Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS		Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto, apinto@lnec.pt	
Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013.					
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2014. v2.0a, 2014-02-12					
<b>1. Enquadramento do edifício</b>					
Tipo de edifício	Habitação_novo_ou_grande_reabilitação	Área útil (m²):	100,0		
Local (município)	LISBOA	Pd (m):	2,60		
Região	A	N.º de pisos da fração	1		
Rugosidade	I	Velocidade vento Defeito REH			
Altitude do local (m)	109	Vento (u10REH: 3,6) (m/s)			
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais	Voz (m/s)	260		
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Não	Textenor (°C)	10,8		
Altura do edifício (H <sub>edif</sub> ) em m	25	Zref (m)	109		
Altura da fração (H <sub>fra</sub> ) em m	20	Aemv/Au:	14%		
		Proteção do edifício:	Desprotegido		
		Zona da fachada:	Média		
<b>2. Permeabilidade ao ar da envolvente</b>					
Foi medido valor n50	Não				
Para cada Vão (janelas/portas) ou grupo de vãos	vãos norte	vãos sul			
Área dos vãos (m²)	6	8,2	0	0	
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	2	2	4	4	
Permeabilidade ao ar das calhas de estore	Não tem	Não tem	Não tem	Não tem	
<b>3. Aberturas de admissão de ar na envolvente</b>					
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Não				
Tipo de abertura					
Área livre das aberturas fixas (cm²) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m³/h)					
<b>4. Condições de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta</b>					
Condições de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Não	Não	Não	Não	
Escoamento de ar					
Ponto de carga					
Altura da conduta (m)					



Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hecf (m/s) 3,60  
Temperatura ext. (°C) 10,8

Natural Mecânico/Híbrido

<b>4. Condições de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta</b>					
Condições de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Não	Não	Não	Não	
Escoamento de ar					
Ponto de carga					
Obertura					
Número de condutas semelhantes					
<b>5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado</b>					
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Não				
Escoamento de ar					
Caudal nominal (m³/h)					
Correção Pressão total do ventilador e rendimento					
Pressão total (Pa)					
Rendimento total do ventilador (%)					
Tem sistema de recuperação de calor					
Rendimento da recuperação de calor (%)					
<b>6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (&lt; 20 Pa)</b>					
Existem meios híbridos	Não				
Escoamento de ar					
Caudal nominal (m³/h)					
Correção Pressão total do ventilador e rendimento					
Pressão total (Pa)					
Rendimento total do ventilador (%)					
<b>7. Verão - Recuperador de calor</b>					
Existe bypass ao recuperador de calor no verão					
<b>8. Resultados</b>					
<b>8.1 - Balanço de Energia - Edifício</b>					
R <sub>edif</sub> (h-1) - Aquecimento					
R <sub>edif</sub> (h-1) - Arrefecimento	0,60				
W <sub>em</sub> (kWh)					
<b>8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência</b>					
R <sub>edif-ref</sub> (h-1)					
<b>8.3 - Caudal mínimo de ventilação</b>					
Rgh estimada em condições nominais (h-1)					
Requisito mínimo de ventilação (h-1)	0,40				
Critério Rgh mínimo					

Selecione Calculador

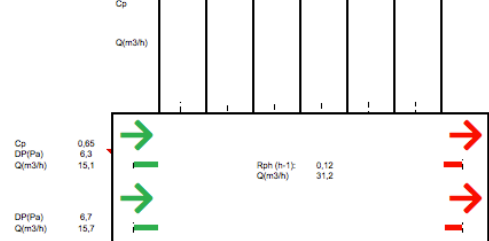
Técnico:

Data: 02/11/14

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hecf (m/s) 3,60  
Temperatura ext. (°C) 10,8

Natural Mecânico/Híbrido

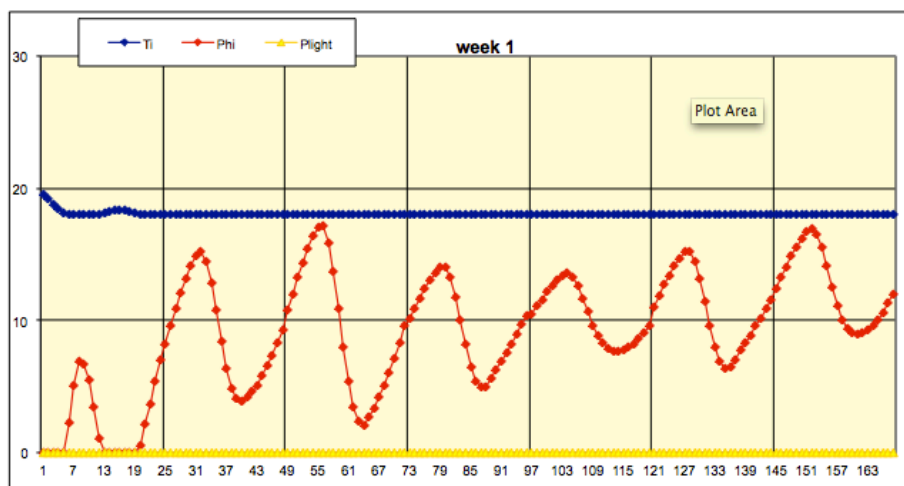


## 8.4 ANEXO D

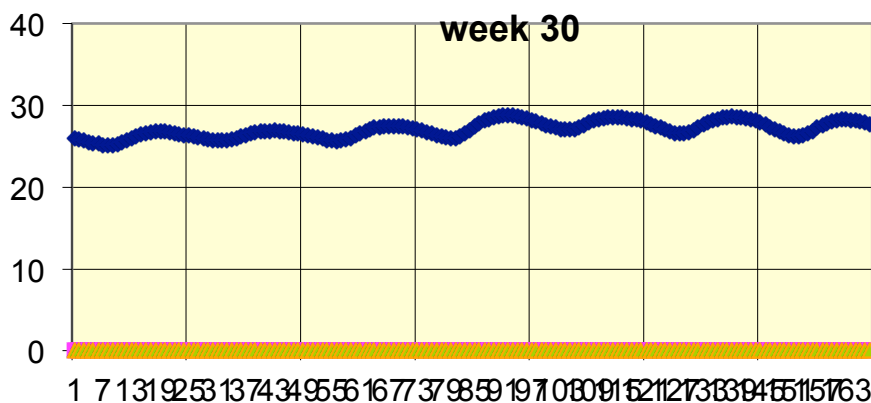
### Folhas de cálculo do método 5R1C

Inputs												
Hwindow	38,3	W/K	floor area	96,8	m2	N	E	S	W	H		
H opaqu	153	W/K				solar aperture	2,81	0	1,56	0	0	m2
inertia	4	(1: very light to 5 very heavy)				natural light aperture	0	0	0	0	0	m2
						solar aperture with shading	2,81	0	1,56	0	0	m2
occup.	101	unocc.	101	m3/h		area naturally lighted	96,8	m2				
ventilation	387	387	W			electrical lighting power	0	W				
set point heating	18	18	°C			lighting control	1	1 manual switch (to be developed)				
set point cooling	100	100	°C									
per floor area, for information												
Hwindow	0,4	W/(K. m2 of floor area)				N	E	S	W	H		
H opaqu	1,58	W/(K. m2 of floor area)				solar ratio	0,03	0	0,016	0	0	ad
						natural light ratio	0	0	0	0	0	ad
occup.	1,04	unocc.	1,04	m3/(h.m2)		solar aperture with shading	0,03	0	0,016	0	0	ad
ventilation	4	4	W/m2			ratio of area naturally lighted	1					
internal gains						electrical lighting power	0	W/m2				

D.1 – Inputs – caso de inverno.



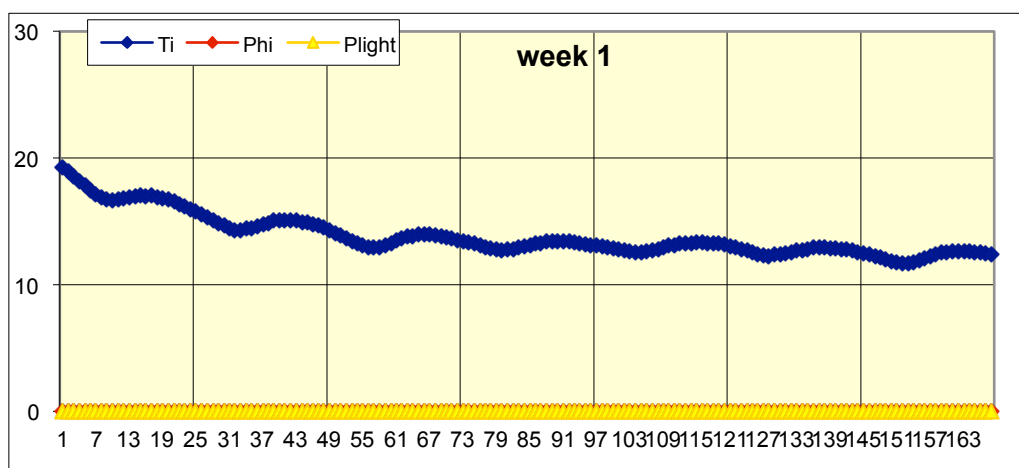
D.2 – Semana 1 – caso de inverno.



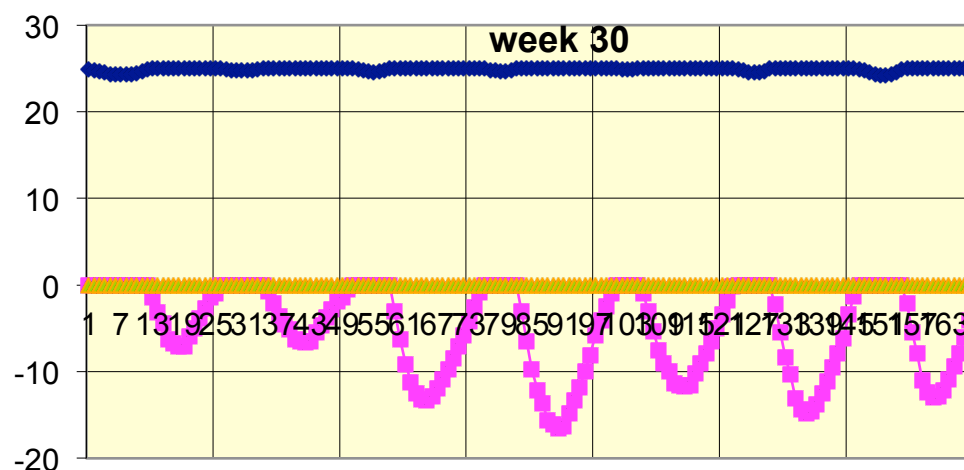
D.3 – Semana 30 – caso de inverno.

Simplified dynamic hourly method				Grande Lisboa (altitude de referência)							
Inputs											
Hwindow	38,34	W/K	floor area	96,84	m2	N	E	S	W	H	
H opaqu	153	W/K				solar aperture	2,52	0	3,15	0	0 m2
inertia	4	(1: very light to 5 very heavy)				natural light aperture	0	0	0	0	0 m2
						solar aperture with shading	0,294	0	0,3589	0	0 m2
occup.	unocc.					area naturally lighted	96,84	m2			
ventilation	151,1	151,1	m3/h			electrical lighting power	0	W			
internal gains	387,4	387,4	W			lighting control	1	1 manual switch (to be developed)			
set point heating	0	0	°C								
set point cooling	25	25	°C								
per floor area, for information											
Hwindow	0,396	W/(K. m2 of floor area)				N	E	S	W	H	
H opaqu	1,58	W/(K. m2 of floor area)				solar ratio	0,026	0	0,0325	0	0 ad
						natural light ratio	0	0	0	0	0 ad
						solar aperture with shading	0,003	0	0,0037	0	0 ad
ventilation	1,56	1,56	m3/(h.m2)			ratio of area naturally lighted	1				
internal gains	4	4	W/m2			electrical lighting power	0	W/m2			

D.4 – Inputs – caso de verão



D.5 – Semana 1 – caso de verão.



D.6 – Semana 30 – caso de verão